Külp, Edmund Jakob,

Lehrbuch der Experimental-Physik in vier Bänden

Bd.: 3

Darmstadt 1862

Külpe

# Lehrbuch

der

# Experimental-Physik

von

Dr. Edmund Külp,

Professor der Physik und Mathematik an der höheren Gewerbschule
zu Darmstadt.

In vier Bänden.

## Dritter Band.

Die Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus.

Mit 100 Abbildungen im Text.

Darmstadt, 1862.

Verlag von Johann Philipp Diehl.

Buchdruckerei von H. Brill in Darmstadt.

# Vorwort.

In dem dritten Bande unserer Experimentalphysik sollen den Gegenstand der Betrachtung abgeben die Gesetze der Elektricität, des Magnetismus, des Galvanismus und die damit verwandten Erscheinungen, wie Elektromagnetismus, Inductionselektricität, Thermoelektricität und Diamagnetismus. Diese Gruppe von Gegenständen bildet einen höchst interessanten und bemerkenswerthen Zweig der menschlichen Erkenntniß, der zugleich zu einem sehr schwierigen und verwickelten geworden ist wegen der vielfältigen Entdeckungen und der großen Menge von Einzelnheiten, welche der Fleiß und Eifer der Physiker und Chemiker in neuerer Zeit hier zu Tage gefördert haben. Bedeutend wird die Schwierigkeit dadurch noch gesteigert, daß viele elektrische Erscheinungen nicht blos auf mechanischen, sondern zugleich auf chemischen Principien beruhen. Es hat auf den ersten Anblick so den Anschein, als könnten jene Phänomene auf rein mechanische Gesetze zurückgeführt werden, während wir bei einer weiter gehenden Betrachtung der Dinge Eigenschaften entdecken, welche das Gepräge von Gesetzen ganz anderer Art an sich tragen. — In einem Lehrbuche der Experimentalphysik, welches Anspruch macht mit den Fortschritten der Wissenschaft möglichst Schritt zu halten, dürfen solche Schwierigkeiten keineswegs außer Acht bleiben; vielmehr wird es seine Aufgabe sein, bei dergleichen weniger aufgeklärten Erscheinungen einige Zeit zu verweilen, und sie nach verschiedenen Seiten hin einer näheren Prüfung zu unterwerfen, selbst auch dann, wenn es nicht vergönnt sein sollte, hier oder dort eine befriedigende Antwort ertheilen zu können. Zunächst wird also das Buch darauf Bedacht nehmen müssen, aus dem verwirrenden Mancherlei und der gewaltigen Masse von besonderen Details das Bedeutungsvollere und Wichtigere hervorzuheben und Solches so viel als möglich zu einem geordneten Ganzen zusammenzufügen, über welches man bei einiger Aufmerksamkeit den gewünschten Ueberblick sich verschaffen kann. Dabei wird das Buch bestrebt sein müssen, die verschiedenen Erscheinungen, welche in nächster Beziehung zu einander stehen, in ähnlicher Aufeinanderfolge zur Sprache zu bringen. Mit der Auseinandersetzung der leichter aufzufassenden Erscheinungen wird das Buch beginnen, um solche auf bestimmte Gesetze zurückzuführen. Alsdann wird es zu den schwierigeren Phänomenen schreiten, um auch über diese zu einem so viel als möglich genügenden Aufschluß zu gelangen; nicht das mindeste Bedenken tragend seine Unkenntniß da einzugestehen, wo ihm die richtige Deutung des Geschehens in der Natur der Dinge versagt ist.

Den Anfang unserer Untersuchungen werden die mechanischen Erscheinungen der Reibungselektricität machen, welche in ihrer Wirksamkeit denselben Gesetzen wie das Licht und die allgemeine Schwere unterliegt: denn ihre Wirkungen nehmen im geraden Verhältniß mit der Intensität der Elektricität zu und im umgekehrten Verhältniß mit dem Quadrate der Entfernung ab. Gänzlich verschieden von der allgemeinen Attraction der Körper zeigt sich jedoch gleich von vornherein die Elektricität durch das Vorhandensein jenes charakteristischen Gegensatzes, welchen wir mit dem Namen positive und negative Elektricität zu be-

zeichnen pflegen. Warum beim Reiben zweier Körper der eine positiv elektrisch, der andere negativ elektrisch wird, darauf können wir bis jetzt keine bestimmte Antwort ertheilen: nur so viel wissen wir, daß selbst geringfügige Umstände dabei von Einfluß sind. So liegt denn der Gedanke nahe, die Elektricität als das Ergebniß einer im Zustande der Körper eingetretenen Modification zu betrachten, welche aller Wahrscheinlichkeit nach von der gegenseitigen Wirksamkeit abhängt, welchen die ponderabelen Massetheilchen der Körper und die sie umgebenden Aetheratome auf einander ausüben. Dergleichen Modificationen können ebenfalls schon bei dem blosen mechanischen Drucke zweier verschiedenartiger Körper wie bei der mechanischen Spaltung eines und desselben Körpers vorkommen: weßhalb die Elektricität auch bei solchen Anläßen sich entwickelt, die es höchst wahrscheinlich machen, daß die Molecularkraft und die elektrische Anziehung mit einander verwandt sind. — Diese Verwandtschaft tritt noch merklicher hervor in der Galvanischen oder Volta'schen Elektricität, die durch wechselseitige Berührung verschiedenartiger Körper, namentlich der Metalle, erregt wird. Wir wissen wiederum nicht, wie durch Berührung der Körper Elektricität entstehe; der Vorgang ist als ein nicht weiter erklärbares Fundamentaldatum hinzunehmen, in ähnlicher Weise wie die Anziehung als eine der Materie inhärirende nicht weiter zu enträthselnde Eigenschaft angesehen wird. Wie über das innere Wesen dieser anziehenden Kraft nichts Bestimmtes ausgesagt werden kann, so vermögen wir ebenfalls nichts Näheres anzugeben über die eigentliche Natur der elektromotorischen Kraft, in Folge derer von den beiden in Berührung befindlichen Körpern der eine positiv elektrisch, der andere negativ elektrisch geladen erscheint. Wie aber bei der Anziehung, welche eine Materie gegen eine andere ausübt, es hauptsächlich nur um die Auffindung des Gesetzes ihrer Wirkungsweise zu thun ist, so wird auch bei der elektromotorischen Kraft vor Allem es uns darauf ankommen, den Folgerungen genau nachzugehen, welche die Voraussetzung einer solchen Kraft mit sich bringt. Nachdem mithin durch wohl begründete physikalische Thatsachen die Erregung der Elektricität durch den blosen Contact verschiedenartiger Körper festgestellt worden, schien es am angemessensten, sofort zu der Betrachtung der zusammengesetzten Kette überzugehen, des durch ihre auffallenden Wirkungen bemerkenswerthesten Instrumentes, welches die Menschen jemals erfunden haben und das sie dem Scharfsinne Volta's verdanken. Die physiologischen Eigenschaften der Säule wurden in Kürze besprochen, die mannigfachen Abänderungen näher angegeben, welche die Säule erfahren hat, seitdem sie aus den Händen ihres berühmten Erfinders hervorgegangen ist.

Hierauf war ausführlicher die Rede von den durch die Volta'sche Säule bewirkten chemischen Zersetzungen, deren Zusammenhang mit dem galvanischen Phänomen gleich Anfangs entdeckt ward, während man auf die Verwandtschaft der letzteren mit der Mechanik erst später geleitet wurde. Die zuerst zu Stand gebrachte galvanische Zersetzung des Wassers machte den Anfang, wobei deutlich vor Augen zu legen war, daß die beiden geschiedenen gasartigen Elemente an den zwei Enden der Säule in dem Verhältnisse sich entwickeln, wie solches die Wasserbildung erheischt. Dann geschah Erwähnung der galvanischen Zersetzung der Alkalien und Erden, welche man bis dahin für einfache Stoffe gehalten hatte; worauf man zu verschiedenen anderweitigen directen Zersetzungen schritt und mit den sogenannten indirecten Zersetzungen endigte, d. h. jenen chemischen Verbindungen, welche nicht unmittelbar durch den elektrischen Strom erzeugt werden. Nicht vergessen durfte man an geeigneter Stelle einzuschalten verschiedene

bei der Elektrolyse vorkommende merkwürdige Vorgänge, wie die galvanische Polarisation, die Wanderungen der zerlegten Bestandtheile nach dieser oder jener Seite hin, die mechanische Ueberführung der unzersetzten Flüssigkeit von der positiven nach der negativen Elektrode, die aus der Zerlegung einer Flüssigkeit unter Form von Kreisen entstehenden Niederschläge, welche nach ihrem Entdecker Nobili'sche Ringe heißen. Unerwähnt durfte ebenfalls nicht bleiben die von Grotthuß aufgestellte naturgemäße Ansicht über den Hergang der Elektrolyse. Dieser Ansicht zufolge wäre ein solcher Act als ein bloser Austausch der Elemente der neben einander gelegenen zusammengesetzten Theilchen zu betrachten, so daß an jedem Punkte der Bahn des elektrischen Stromes auf die chemische Zerlegung eine Vereinigung der Elemente zu zusammengesetzten Theilen unmittelbar folgte, mit Ausnahme an den Elektroden, an denen die Bedingungen zur Vereinigung der letzt ausgeschiedenen Atome sich nicht vorfinden. Die Polarisation der Theilchen und die Trennung der Elemente wären hiernach directe Wirkungen der Elektricität, während die unmittelbar nach der Zersetzung vor sich gehende Wiedervereinigung der Elemente in den den kleinsten Theilen innewohnenden Affinitätskräften ihren Grund hätte.

Thatsache ist es, daß durch chemische Zersetzung Elektricität sich entwickelt und die Berührungselektricität in vielen Fällen durch Mitwirkung chemischer Processe bedeutend verstärkt wird. Dies weist zwar darauf hin, daß die Contactelektricität zu der chemischen Affinität und dem chemischen Processe in gewisser Beziehung steht; deßwegen können wir aber uns noch nicht veranlaßt finden, die Ursache der Elektricität einzig und allein in der chemischen Action zu suchen. Denn es liegen Erfahrungen vor, in denen Berührungselektricität auftritt und sich keine chemische Wirkung nachweisen läßt. Im Uebrigen ist es äußerst schwierig, den wahren Antheil des Chemismus an der Elektricitätserregung in das gehörige Licht zu stellen, weil es gar keine chemische Wirkung ohne Berührung gibt. Aller Wahrscheinlichkeit nach hat die Volta'sche Elektricität ihren letzten Grund in der Wirksamkeit der Molecularkräfte, deren Wirkungssphären bei den in Berührung stehenden Materien wechselseitig ineinandergreifen. Durch ein derartiges Ineinandergreifen ihrer Actionen wird zunächst Elektricität frei, welcher ein chemischer Proceß nachfolgen kann, aber nicht nothwendigerweise nachfolgen muß. Damit ist jedoch das eigentliche Wesen der Elektricität noch keineswegs erkannt: es geht uns mit dieser Kraft wie mit der Schwerkraft, der chemischen Affinität und den anderen in der Natur wirkenden Kräften. Wir haben die Wirkungsweise dieser Kräfte zum Theil ermittelt und für dieselben eine beschränkte Anzahl von Gesetzen gefunden; doch sind wir bis jetzt nicht im Stande gewesen, die innere Natur jener verschiedenen Kräfte zu enträthseln: alle unsere bisherigen Bemühungen diese Mehrheit von Kräften auf einfache Elementarkräfte oder auf eine einzige Grundkraft zurückzuführen, haben den erwünschten Erfolg nicht gehabt. Dies darf uns jedoch nicht abhalten, das Ziel mit Beharrlichkeit zu verfolgen; denn je mehr wir in der Wissenschaft vorwärts schreiten, desto mehr erkennen wir, daß im Ganzen wie in jedem einzelnen Gebiete der Natur Einheit und Harmonie waltet.

Bei einiger Ueberlegung konnte man wohl bald auf den Gedanken gerathen, den inneren Grund der Elektricitätsentwickelung durch Reibung zunächst in der dabei stattfindenden Molecularbewegung zu suchen, und eine derartige erste Quelle gleichfalls für die Elektricitätserregung beim Aneinanderdrücken zweier Körper

oder beim Spalten eines Körpers anzunehmen. In ähnlicher Weise mögen sich zwei ungleichartige Körper in verschiedenen Schwingungszuständen befinden, welche bei der Berührung der Körper allmählig zur Ausgleichung kommen, ohne daß deßwegen nach Außen eine neue Erscheinung zu Tage tritt. Werden aber die beiden Körper durch einen Schließungsbogen mit einander in Berührung gebracht, so gehen diese verschiedenartigen Schwingungen einander entgegen und geben dadurch zur Entstehung eines elektrischen Stromes Anlaß. Hiernach wären dann die elektrischen Vorgänge nichts anders als Schwingungen der Molecüle diesseits und jenseits um ihre Gleichgewichtslage, welche Schwingungen fortzuleiten die verschiedenen Körper eine sehr verschiedene Fähigkeit besäßen. — Die Schwingungen der Molecüle der beiden Polardrähte der Säule wie die der Molecüle in den beiden Belegungen der Leidener Flasche sind durch den dazwischen liegenden isolirenden Körper zur Ruhe gebracht, der die Fortpflanzung der beiden Bewegungen hindert. Dagegen ist die Ausgleichung der Bewegungen vermittelt oder die Entladung bewerkstelligt, wenn die beiden Polardrähte oder die beiden Belegungen durch einen guten Leiter verbunden werden. — Gleichwie Schall- und Lichtwellen sich ungestört gegen einander bewegen können, so kann sich Aehnliches bei gegen einander laufenden elektrischen Schwingungen ereignen, was bei dem gleichzeitigen Telegraphiren nach entgegengesetzten Richtungen in demselben Drahte der Fall ist. Wie Schall und Licht bei dem Uebergange aus einem Medium in ein anderes eine Schwächung erleiden, so wird auch der elektrische Strom durch den Wechsel der Medien geschwächt. Was noch weiter zu Gunsten der Vibrationstheorie der Elektricität spricht, ist das sogenannte galvanische Tönen. Umgibt man nämlich eine Inductionsrolle, in welcher abwechselnd elektrische Ströme erzeugt werden, mit einer dünnen Metallröhre; so entstehen nach Beschaffenheit des Stoffes und der Dimensionen der Röhre verschiedene Töne, deren Intensität mit jener des Stromes zu- und abnimmt. — Nach der Ansicht, welcher gemäß die elektrischen Erscheinungen in keinen fortschreitenden Bewegungen eines imponderabelen Fluidums, sondern in Schwingungen der kleinsten Massentheilchen der Körper bestehen sollen, bestimmt die Elongation oder Amplitude die sogenannten Intensitätserscheinungen, während durch die Menge der Schwingungen die Quantitätserscheinungen bedingt werden. Die Amplitude wächst mit der Anzahl der Elemente der Säule, weßhalb in der letzteren die physiologischen Erscheinungen kräftiger hervortreten, als in der einfachen Kette. Dagegen befördert eine solche Kette, bei welcher die Ladung schneller vor sich geht und damit die Menge der Schwingungen in höherem Maße vermehrt wird als bei der Säule, mächtiger als letztere die thermischen und chemischen Erscheinungen, welche einer größeren Schwingungszahl bedürfen. Obschon die Theorie über manche elektrische Vorgänge keinen genügenden Aufschluß zu geben vermag, so verdient sie doch nach verschiedenen Seiten hin einer näheren Prüfung unterzogen zu werden, insofern sie bestrebt ist, die verwandten Erscheinungen des Schalles, des Lichtes, der Wärme und der Elektricität durch ein einheitliches Band zu verknüpfen.

Viel Aehnlichkeit hat der Magnetismus mit der Elektricität; die magnetischen Kräfte wirken wie die elektrischen im geraden Verhältniß der Intensität des Magnetismus und im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernungen. Coulomb hat zuerst dieses Gesetz mit Hülfe seiner Torsionswage und mittelst der Methode der Oscillationen außer allen Zweifel gestellt. Zugleich hat er nachgewiesen, daß die magnetische Action der Erde auf einen Magnet sich blos darauf beschränkt, den Magneten in eine durch den magnetischen Meri-

dian bestimmte Gleichgewichtslage zu bringen, falls er dieselbe noch nicht angenommen hat. Der Nachweis dieser Thatsache war von großer Wichtigkeit, indem es vor Allem nothwendig gewesen, die Wirkung des Erdmagnetismus zu kennen, ehe man über die gegenseitigen Einwirkungen der Magnete auf einander aus den Beobachtungen etwas Sicheres ableiten konnte. Die bekannte Erscheinung, daß ein an einem Faden aufgehängter Magnet sich mit dem einen Ende nahezu nach Norden, mit dem andern nach Süden richtet, daß die gleichnamigen Pole zweier Magnete sich abstoßen, die ungleichnamigen aber sich anziehen, nöthigt uns zwei entgegengesetzte magnetische Kräfte, einen Nord- und einen Südmagnetismus anzunehmen: die Analogie dieser Annahme mit der bei der Elektricität gemachten springt in die Augen. — Doch zeigen sich gleich von vornherein einige bemerkenswerthe Verschiedenheiten zwischen Elektricität und Magnetismus. So ist in der Regel bei einem elektrischen Körper die Elektricität an den verschiedenen Stellen desselben von einerlei Art, nur ändert sich ihre Intensität mit der Beschaffenheit der Oberfläche. Anders verhält es sich mit einem magnetischen Stabe; denn theilt man den Magnet in eine beliebige Anzahl Stücke, so bleibt jedes einzelne Stück ein vollständiger Magnet mit einem besondern Nord- und Südpol. Wir müssen daher jeden magnetischen Körper aus unzählig vielen magnetischen Elementen zusammengesetzt betrachten, deren jedes seinen eignen Nord- und Südpol hat. Wegen dieses polaren Zustandes der Elemente werden sie sich in ihren Wirkungen zum Theil neutralisiren, so daß an den beiden äußersten Endpunkten des Körpers nur noch ein bemerkbarer Magnetismus hervortritt. Bei der sogenannten Elektricität durch Vertheilung haben wir übrigens ein der magnetischen Anordnung ähnlichen Verlauf vor Augen, indem nämlich unter Mitwirkung eines Nichtleiters, welcher sich zwischen einem elektrischen Körper und einem isolirenden Leiter befindet, die beiden Hälften des letztern entgegengesetzte Elektricitäten annehmen. — Die Elektricität wird durch Mittheilung geschwächt; nicht geschieht dies bei einem Magneten, mit welchem man noch so viele Eisenstücke magnetisiren kann, ohne daß er deßwegen etwas von seiner magnetischen Kraft verliert. Wenn man darum Bedenken trägt, das Vorhandensein des elektrischen Fluidums zuzugeben, so wird dies um so mehr bei dem magnetischen Fluidum der Fall sein, da letzteres nicht wie ersteres sich fortbewegt und nicht von einem Körper zum andern übergeht. — Daß sich die magnetische Kraft der Körper nicht immer wie die Schwere zeigt, rührt wohl daher, daß entweder der polare Zustand der Molecüle nicht vorhanden ist, sondern erst hervorgerufen werden muß, oder daß die beiden entgegengesetzten Kräfte bei der gewöhnlichen Lage der Molecüle einander neutralisiren und erst bei einer bestimmten Anordnung der letzteren als magnetische Kräfte erscheinen können. Die Körper widersetzen sich dieser Anordnung, Eisen in geringerem, Stahl in höherem Grade.

Der bedeutende Verlust an Magnetismus, welchen Stäbe durch ihren gegenseitigen Einfluß erleiden und den wir durch vielfältige Versuche erprobt haben, spricht für die Richtigkeit der eben ausgesprochenen Behauptung. Ebenfalls sprechen dafür die eigenthümlichen Erscheinungen, welche bei der Magnetisirung von Körpern aus Stahl hervortreten, die anders als parallelepipedische oder cylinderförmige Stäbe gestaltet sind. Wir haben Stahlkugeln, Stahlringe, dreiseitige Pyramiden, Stahlwürfel u. s. w. magnetisirt und Resultate erhalten, die anfänglich überraschten, bei näherer Prüfung aber einer bestimmten Regel

sich zu fügen schienen. Deßgleichen haben wir Platten von demselben Stahl, bei gleicher Dicke und einerlei Gewichte, jedoch von verschiedener Form, bis zur Sättigung magnetisirt und dann die Platten auf den Grad ihrer Magnetisirung geprüft: derselbe stellte sich bei den verschiedenen Platten als ein anderer heraus und war desto beträchtlicher, je mehr die Form der Platte jener eines Rechtecks näher kam. Auch Cylinder aus gleichem Stahl, deren einer massiv und die andern in der Richtung der Achse durchbohrt waren, wurden auf einerlei Weise bis zur Sättigung magnetisirt: unter gleichen Umständen gaben die hohlen Cylinder einen höheren Grad von Magnetismus als die massiven zu erkennen. — Für die gegenseitige Einwirkung zweier beliebiger Magnetstäbe wurde unter der Voraussetzung, daß ihre magnetische Kräfte in zwei Punkten ihren Sitz hätten, eine Formel anfgestellt, welche die Totalwirkung eines kurzen Magnets auf die Pole einer kleinen Declinationsnadel als speciellen Fall in sich schließt. Demgemäß ist letztere Action in gewissen Lagen des Magnets zu der Declinationsnadel der dritten Potenz der Entfernung der Mitten beider Magnete verkehrt proportional; ein Resultat, welches mit der Erfahrung in genauester Uebereinstimmung steht.

In dem Kapitel über terrestrischen Magnetismus haben wir auf theoretischem Wege den Einfluß zu bestimmen versucht, welchen ein auf der Oberfläche der Erde befindliches Magnettheilchen erleidet, wenn im Innern derselben ein Magnet angenommen wird. Die aus der Formel entnommenen Resultate stimmen öfters ziemlich gut mit den Versuchen überein, welche Barlow über die Wirkung einer eisernen Kugel auf die Magnetnadel angestellt hat. — Bemerkenswerth ist es, daß eine dünne Kugelschale von Eisen ganz die nämliche Wirkung hervorbringt, wie eine massive Kugel von demselben Metalle und von demselben Durchmesser. Es scheint daraus hervorzugehen, daß aller uns noch bemerkbare Magnetismus blos auf die Oberfläche der Körper beschränkt sei. Durch die auf der Erdoberfläche vertheilten magnetischen Kräfte würde hiernach ein polarer Zustand hervorgerufen, als läge gleichsam im Innern der Erde ein Magnet verborgen; in ähnlicher Weise wie die Totalaction aller Theile einer aus concentrischen homogenen Schichten bestehenden Kugel auf einen äußern Punkt von der Art ist, als wäre in dem Mittelpunkte die ganze Masse der Kugel vereinigt. — Uebrigens darf uns der Ausspruch, daß der Erdmagnetismus 361 Trillionenmal größer ist als der eines ein Meter langen mit der Einheit des Magnetismus begabten Eisenstabes, uns nicht mehr in Staunen versetzen als die Aussage, daß die Attractionskraft des Erdkörpers 5836 Trillionenmal größer ist als die anziehende Kraft eines Cubikmeters Wasser. In den großen Zahlen liegt das Erstaunenswürdige nicht; werden sie doch zu kleineren, wenn man einen größern Maßstab an die Dinge legt.

Die merkwürdigen Erscheinungen, welche man unter dem Namen Elektromagnetismus oder Elektrodynamik zu begreifen pflegt, lassen auf den engsten Zusammenhang zwischen Elektricität und Magnetismus schließen. Schon bei näherer Prüfung des ersten Versuches, welcher von Oersted, dem Entdecker des Elektromagnetismus angestellt worden, ergab sich, daß die elektromagnetische Elementarkraft, d. h. diejenige Kraft, welchen ein einziger Durchschnitt des Stromleiters auf die Nadel ausübt, im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung steht und dem Produkte der Intensität des elektrischen Stromes und jener des Magnetismus proportional ist. — Zugleich zeigte die bald darauf

gemachte merkwürdige Beobachtung Ampère's, des Entdeckers der Elektrodynamik, daß ein elektrodynamischer Cylinder, d. h. ein Schraubendraht, durch den ein elektrischer Strom fließt, sich einem Magnete gegenüber wie ein Magnetstab verhält, dessen Pole genau an seinen Enden liegen. Auch ward ein solcher Draht, wenn er sich um eine verticale Achse frei bewegen konnte, schon unter dem blosen Einflusse des Erdmagnetismus stets dergestalt gerichtet, daß die Schraubenachse mit dem magnetischen Meridian zusammenfiel. — Eine der vorzüglichsten Anwendungen der elektromagnetischen Wirkungen ist das Galvanometer, durch welches der Naturforscher in den Stand gesetzt ist, die Stärke eines Volta'schen Stromes zu messen und sehr schwache elektrische Ströme zu erkennen und ihre Richtung festzustellen. — Der elektrische Strom, welcher auf eine Magnetnadel im Allgemeinen eine richtende Kraft ausübt, vermag eine frei bewegliche Magnetnadel in eine rotirende Bewegung zu versetzen, wenn man es dahin bringt, daß der Einfluß des Stromes auf den einen Pol jenen auf den andern überwiegt. Deßgleichen geräth ein horizontaler begrenzter Strom, der um eine verticale Achse beweglich ist, durch den Erdmagnetismus in eine beständige Drehung, nämlich von Ost nach Nord, wenn er sich von seiner Achse entfernt, und von Ost nach Süd, wenn er ihr sich nähert. — Das eben besprochene Verhalten eines elektrodynamischen Cylinders einem Magnetstabe und dem Erdmagnetismus gegenüber bewog Ampère, die gegenseitige Einwirkung der elektrischen Ströme auf einander einer weiteren Prüfung zu unterziehen. Mit eben so großer praktischer Geschicklichkeit als theoretischer Gewandtheit in der mathematischen Analyse fand er alsbald das Grundgesetz für diese Wirkungen. Es lautete: Zwei parallele Ströme ziehen sich an, wenn sie nach einerlei Richtung gehen, dagegen stoßen sie sich ab, wenn sie entgegengesetzte Richtungen haben. Dabei steht wiederum die Stärke der Einwirkung zu dem Produkte der beiden auf einander wirkenden Stromstärken und den Längen der Drähte im geraden Verhältniß, zu dem Quadrate ihres Abstandes aber im umgekehrten Verhältniß. — Mittelst fein ausgedachter Apparate ist es ihm gelungen, einen beweglichen Stromleiter unter dem Einflusse eines elektrischen Stromes in eine continuirlich rotirende Bewegung zu versetzen, kurz durch die Wechselwirkung zweier elektrischen Ströme auf einander ganz dieselben Erscheinungen hervorzubringen, welche die Wirkungen der Ströme und Magnete auf einander uns vor Augen führen. — Dabei hat der seltene Scharfsinn des Mannes der Wissenschaft eine höchst bemerkenswerthe Formel überliefert, nach welcher sich die Einwirkung zweier beliebig gestalteter Stromleiter berechnen läßt und deren Richtigkeit er in verschiedenen Fällen auf unzweifelhafte Weise dargethan hat. Um die hierher gehörigen Erscheinungen nach Zahl und Maß zu bestimmen, waren jedoch die Ampère'schen Apparate nicht ausreichend; der berühmte deutsche Physiker Weber hat diese Mängel durch seinen sinnreich erdachten elektrodynamischen Rheometer zu beseitigen gewußt und damit die Wahrscheinlichkeit, daß für die elektrodynamischen Wirkungen in die Ferne dieselben Gesetze wie für die magnetischen gelten, zur unumstößlichen Gewißheit erhoben. Indem so in kurzen Zügen die Geschichte der Entdeckung der Gesetze der elektromagnetischen und elektrodynamischen Wirkungen mitgetheilt worden, wurden zu gleicher Zeit die Marksteine auf den Weg gestellt, welchen das Buch hier zu nehmen hatte.

Die gegenseitigen Wirkungen der Magnete auf einander sowohl als auch diejenigen, welche elektrische Ströme unter sich ausüben, bewogen Ampère, den Magnetismus nur als eine bestimmte Form der Elektricität aufzufassen. Nach

seiner Ansicht rührt der Magnetismus von elektrischen Strömen her, welche die Molecüle des Magnets in geschlossenen Curven umkreisen, so daß jeder Magnet gleichsam als ein elektrodynamischer Cylinder anzusehen ist. Diese Ströme sind in allen des Magnetismus fähigen Körpern in deren natürlichem Zustande schon vorhanden, erfolgen darin aber in allen möglichen Richtungen, so daß sie sich gegenseitig neutralisiren und keine Wirkung nach Außen hervorbringen können. Nur erst wenn dergleichen Ströme unter dem Einfluß eines bereits vorhandenen Magnets oder eines Volta'schen Stromes eine gleiche Richtung erhalten haben, sind sie vermögend sich im Ganzen als Magnete zu äußern. Bemerkenswerth bleibt es immer, daß das Auftreten des Magnetismus das Vorhandensein eines Magnets oder eines elektrischen Stromes voraussetzt, während die Elektricität nicht blos durch die beiden letztgenannten Mittel, sondern noch durch anderweitige Vorgänge, wie Reibung, Druck, chemische Affinität, Wärme entwickelt wird. Es scheint daraus hervorzugehen, daß die elektrischen und magnetischen Erscheinungen nur verschiedene Aeußerungen derselben Grundkraft seien, welche häufiger in der Form von Elektricität, als in der Form von Magnetismus auftritt. — Der Ampère'schen Hypothese zufolge hat die Wirkung des Erdmagnetismus ihren Grund in elektrischen Strömen, welche die ganze Erde von Ost nach West parallel mit dem magnetischen Aequator umkreisen. Das Dasein elektrischer Ströme haben in der That die in verschiedenen Bergwerken mit Hülfe des Multiplicators angestellten Versuche direct nachgewiesen; doch hat man solche Ströme nicht immer mit dem magnetischen Aequator parallel laufend gefunden. Im Uebrigen dürften dergleichen Strömungen im Erdkörper, welcher aus gar mancherlei dem Stahl und Eisen ganz verschiedenartigen Substanzen besteht, wohl von anderer Art sein, als diejenigen Strömungen, welche den Magnetismus des Stahls und Eisens begründen. — Ampère hat das Problem der elektrodynamischen Wirkung zu einer befriedigenden Lösung gebracht und durch Rechnung verschiedene Voraussagungen gemacht, welche in der Erfahrung ihre vollkommene Bestätigung gefunden. Uebrigens geht es uns mit der Ampère'schen Hypothese wie mit allen anderen Hypothesen, deren jede nur innerhalb bestimmter Grenzen Geltung hat. So z. B. ist die Hypothese nicht im Stande zu erklären, weßhalb die Wärme den Magnetismus schwächt, die Elektricität dagegen erhöht. Diese Schwächung des Magnetismus ist aller Wahrscheinlichkeit nach auch der Grund, warum der Erdmagnetismus in Afrika, wo die größte Wärme auf der Erde herrscht, sein Minimum hat und von den wärmeren nach den kälteren Gegenden zunimmt. — Deßgleichen vermag die Hypothese nicht zu erklären, warum die magnetische Strömung in Stahl andauernd fortbesteht, während die elektrische Strömung überall fortwährend abnimmt: denn durch die sogenannte Coërcitivkraft, welche hier zu Hülfe gerufen wird, läßt sich der Verlauf der Sache wohl keineswegs als sattsam erklärt ansehen.

Dem einfachen höchst wichtigen Ohm'schen Gesetze, nach welchem alle Wirkungen der Volta'schen Säule ins klarste Licht treten, sind wir auf dem Wege des Experiments nach verschiedenen Seiten hin mit Aufmerksamkeit nachgegangen. Verschiedene Fragen, welche ohne Hinzuziehung dieses Gesetzes in Dunkel gehüllt erscheinen, erhielten ihre Lösung. Die Bedingung wurde angegeben, bei welcher das Maximum des Stromeffects zu Tage tritt; die Art der Spirale bestimmt, bei der für einen gegebenen Elektromagneten die stärkste Wirkung erhalten wird; die bei der Stromtheilung stattfindenden Vorgänge wurden auf theoretischem Wege untersucht und die gefundenen Resultate mit der Erfahrung vergleichend

zusammengehalten; dann die verschiedenen Methoden mitgetheilt, welche man zur Messung der elektromotorischen Kräfte in Anwendung bringt. — Die Untersuchungen über die Magnetisirung der Elektromagnete hatten öfters keinen rechten Fortgang wegen der mancherlei falschen Angaben, welche theils aus der Unbekanntschaft mit dem Ohm'schen Gesetze, theils aus der Unkenntniß des sogenannten magnetischen Sättigungszustandes des Eisens hervorgegangen sind. Das Buch mußte deßhalb sich bestreben, die in den verschiedenen wissenschaftlichen Zeitschriften enthaltenen Abhandlungen, welche das Gebiet des Elektromagnetismus nach dieser Seite bearbeitet hatten und frei von jenen Mängeln waren, mit kritischem Fleiße zu benutzen und die bis jetzt als richtig anerkannten Gesetze in einem systematischen Gewande dahin zu stellen. Die Resultate der Forschungen von Müller, Lenz, Jacobi, v. Feilitzsch und Dub boten hier ein schätzbares Material dar, gegen welches der aus den eigenen Untersuchungen gewonnene Beitrag weit zurückstand. Das Geringfügige wurde daher ganz bei Seite liegen gelassen und nur des Bedeutungsvolleren Erwähnung gethan: dieses Geständniß hier abzulegen ist mir eine theure Pflicht, welcher zu genügen ich mich gedrungen fühle.

In dem Abschnitte über die Inductionselektricität, welche nach ihrem Entdecker auch Faradayismus genannt wird, sind zunächst verschiedene einfache Vorrichtungen ausführlich besprochen worden, um die Wirkungen des inducirten Stromes kennen zu lernen, die denen der galvanischen Ströme in allen Stücken gleich sind. Unter jenen Vorrichtungen glaubten wir den Apparat nicht vergessen zu dürfen, dessen wir uns bedienen, um den beim Schließen oder Oeffnen der Kette besonders inducirten Strom jeden für sich zu sammeln. Hinsichtlich des Extrastromes haben wir die Ergebnisse der unserseits angestellten Versuche mitgetheilt, dabei aber nicht unterlassen, das fein ausgedachte Verfahren auseinanderzusetzen, welches Edlund in Upsala eingehalten hat, um nachzuweisen, daß die beim Oeffnen und Schließen der Kette entstehenden Extraströme gleich groß sind, wenn die inducirende Stromstärke in beiden Fällen die nämliche ist. Mancherlei Aufschlüsse über die durch Rotation von Magneten in benachbarten Leitern entstehenden Inductionsströme verschaffen uns die von Fessel in Köln nach Angabe unsers hochverehrten Physikers Plücker verfertigten Inductionsapparate. Wir hielten es daher für passend, die Beschreibung gedachter Apparate und verschiedener damit ausgeführter Versuche in dem Buche aufzunehmen. Diese Erscheinungen gehören mit denjenigen, welche von Arago zuerst wahrgenommen worden und gewöhnlich mit dem Namen Rotationsmagnetismus bezeichnet werden, zu der Klasse der magnetoelektrischen. Die Natur der Sache bringt es demnach mit sich, von der magnetischen Induction zu dem Rotationsmagnetismus überzugehen, d. i. zu den durch bewegte metallische Massen unter dem Einflusse von Magneten hervorgerufenen Inductionserscheinungen.

Von den magnetoelektrischen Maschinen, mit deren Hülfe es gelingt, die Inductionsströme in verstärktem Grade hervorzubringen, haben wir die von Pixii, v. Ettingshausen, Fessel und Stöhrer besonders hervorgehoben und verschiedene Versuche damit angestellt. Bei der Vergleichung der Wirksamkeit dieser vier Maschinen ergab sich, daß sie in magnetischer Beziehung sich anders als in physiologischer Beziehung verhielten. Dies mußte uns auffordern, weitere Versuche über die inducirten Ströme vorzunehmen, wobei sich herausstellte, daß die Aussagen des Gefühls über die Intensität eines Stromes nicht immer mit den Anzeigen am Galvanometer übereinstimmen. An dieser Stelle Einiges aus den von dem ausgezeichneten Physiker Dove über die verschiedenen Inductions-

ströme angestellten Untersuchungen aufzunehmen glaubten wir dem Buche schuldig zu sein. Legen uns doch jene Forschungen den Gedanken nah, die Inductionsströme gleichsam als Zwischenglieder eines größeren Ganzen anzusehen, an dessen einem äußersten Ende der Strom der sich entladenden Leidner Flasche und an dem andern Ende der galvanische Strom steht. Vielleicht verhalten sich jene verschiedene Inductionsströme in ähnlicher Weise wie die Farben Orange, Gelb, Grün und Blau bei der Farbenskala, deren Endglieder für uns Roth und Violet sind. — Mit einem von Fessel trefflich ausgeführten Ruhmkorff'schen Inductionsapparat haben wir vielfältige Versuche angestellt, von denen die auf Lichterscheinungen bezüglichen etwas ausführlicher zur Sprache gekommen sind als diejenigen, welche auf Spannungserscheinungen, auf chemische, thermische und physiologische Wirkungen Bezug haben; wobei nicht unterlassen wurde, den Einwirkungen besonders nachzugehen, welche die Anwendung des Condensators auf die verschiedenen Erscheinungen hat.

Was die elektrischen Lichterscheinungen anlangt, so sind dieselben aller Wahrscheinlichkeit nach nichts anders als secundäre Erscheinungen, d. h. Schwingungen des Aethers, welcher durch eine Störung des Gleichgewichts in den ponderabeln Theilchen zur Bewegung angeregt wird. Wie eine bestimmte Pfeife mit verschiedenen Gasen gefüllt in verschiedenen Tönen anspricht, so ist in ähnlicher Weise das elektrische Licht in verschiedenen Gasen verschieden gefärbt, z. B. im Aetherdampfe grünlich, im höchst verdünnten Stickgas feuerroth. Gleichwie die Höhe des Tons von der Beschaffenheit des schwingenden Körpers abhängt, ebenso ist beim Ueberschlagen des elektrischen Funkens zwischen verschiedenen Körpern sein Licht von den abgerissenen Körpertheilchen abhängig. Im destillirten Wasser ist der elektrische Funke roth, in der Salzlösung gelblich, was vermuthen läßt, daß in der letzteren der Aether elastischer als im ersteren ist. Daher mag es denn auch kommen, daß die Funkenentladung bei der Salzlösung eher auftritt als im destillirten Wasser. Nach der Farbe des elektrischen Lichtes in gasverdünnten Räumen zu schließen, schienen mir unter sonst gleichen Umständen die Schwingungen des Aethers desto rascher zu erfolgen, je verdünnter der Raum ist. Im absolut leeren Raume habe ich keine elektrische Lichterscheinungen wahrgenommen: Möglich daß der absolut leere Raum ein vollkommener Leiter ist, wodurch die discontinuirliche Funkenentladung sich in eine continuirliche umsetzt. Möglich auch, daß die Schwingungen des Aethers im leeren Raum zu schnell vor sich gehen und so von dem Auge nicht mehr wahrgenommen werden können. Möglich ferner, daß die Schwingungen des Aethers im absoluten leeren Raume andern Erscheinungen als denen des Lichtes entsprechen. Es möchte wohl darum von höchstem Interesse sein, den elektrischen Lichterscheinungen in gasverdünnten Räumen mit Aufmerksamkeit weiter nachzugehen, wozu der Ruhmkorff'sche Inductionsapparat das geeignetste Mittel sein dürfte. Wir konnten uns deßwegen auch nicht enthalten, den von Plücker mit sorgsamem Fleiße angestellten Untersuchungen über die elektrischen Spectra in gasverdünnten Räumen in dem Buche eine Stelle einzuräumen.

In manchen Fällen erscheint die Wärme als Ursache der Elektricität, wenn sie auch nicht zu auffallenden Mengen derselben führt. So werden gewisse Krystalle, wie der Turmalin, der Boracit durch Erwärmung elektrisch, wobei die entgegengesetzten Elektricitäten in zwei entgegengesetzten Punkten sich anhäufen. Beim Zerbrechen eines solchen elektrisch gemachten Krystalls gibt jedes Stück Zeichen des zweifachen elektrischen Zustandes von sich, deutet mithin eine Be-

schaffenheit an, welche mit jener eines Stahlmagnets Aehnlichkeit hat. Die elektrische Strömung im Krystall, welche durch die Wärme hervorgerufen wird, pflanzt sich in demselben nicht fort wie die magnetische Strömung im Eisen, die übrigens die Wärme zum Verschwinden bringt. — Doch lassen sich in vielen andern Substanzen auch durch Wärme elektrische Ströme erzeugen, welche in geschlossenen Leitern langsamer oder schneller von einem Ende bis zum andern sich fortpflanzen. Dergleichen von dem deutschen Physiker Seebeck zuerst nachgewiesene thermoelektrische Ströme bringen die nämlichen Wirkungen wie die galvanischen oder hydroelektrischen Ströme, jedoch in minderem Grade, hervor. Nur diejenigen Wirkungen sind äußerst schwach oder gar nicht vorhanden, welche von einem gewissen Grade der Intensität abhängen. Wie die Reibungselektricität bei verminderter Spannung und andauernder Strömung galvanische Wirkungen erzeugt, so wird sie wahrscheinlich auf einen noch geringeren Grad der Spannung herabgesetzt nur die Wirkungen der Thermoelektricität hervorbringen. So reiht sich denn die Thermoelektricität an die galvanische Elektricität, Inductionselektricität und Reibungselektricität als ein neues Glied an. Alle diese Elektricitäten sind nicht in ihrem Wesen, sondern nur dem Grade nach verschieden; sie unterscheiden sich, aus welcher Quelle sie auch entsprungen sein mögen, nach Maßgabe der einwirkenden Umstände blos der Quantität und der Intensität nach von einander. In Bewegung begriffen zeigen sie sämmtlich mehr oder minder Licht- und Wärmeerregung, chemische Zersetzungen, magnetische Effecte und physiologische Wirkungen; dagegen in einem dem statischen näher liegenden Zustande vorkommend sie sich in die Ferne durch Anziehung und Abstoßung äußern, welche Wirkungen, wie eben bemerkt, bei der Thermoelektricität jedoch unmerklich sind.

Bisher war der Magnetismus nur insofern Gegenstand der Betrachtung, als er vorzugsweise nur am Eisen und Stahl, und im geringeren Grade nur am Nickel und Kobalt wahrzunehmen ist. Ein starker Elektromagnet setzt uns jedoch in Stand, die übrigen Körper ebenfalls hinsichtlich der Erregbarkeit des Magnetismus einer deutlicheren Prüfung zu unterziehen: wahrscheinlich wird dies auch mit einem gleichstarken andern gewöhnlichen Magnet geschehen können. Auf diesem Wege hat sich ergeben, daß ein derartiger kräftiger Magnet auf die verschiedenen Körper nicht gleichmäßig, sondern theils anziehend, theils abstoßend wirkt, indem nicht blos alle festen, sondern auch alle tropfbaren und ausdehnsamen Stoffe entweder von ihm angezogen oder abgestoßen werden. Die letzteren werden d i a m a g n e t i s c h e, die ersteren m a g n e t i s c h e oder p a r a m a g n e t i s c h e genannt. Mit diesem Unterschiede der Körper in paramagnetische und diamagnetische hängen zugleich die bemerkenswerthen Veränderungen ihrer Stellung zusammen, welche sie erleiden, je nachdem sie von einer paramagnetischen oder diamagnetischen Flüssigkeit umgeben sind. — Nach der Ansicht von Weber sind in den magnetischen Körpern die elektrischen Molecularströme beständig vorhanden, dagegen solche in den diamagnetischen Stoffen unter den geeigneten Bedingungen erst hervorgerufen werden. Dergleichen inducirte Ströme müssen nach dem Gesetze der Induction den erregenden Strömen entgegengesetzt gerichtet sein, weßhalb eine Abstoßung statt der Anziehung erfolgt. Durch eine inducirende Kraft auf einen Körper können zweierlei Ströme gebildet werden, nämlich die gewöhnlichen Inductionsströme und die inducirten Molecularströme. Die ersteren, welche durch den Leiter fließen, erleiden einen durch den Stoff bewirkten Widerstand und verschwinden alsbald. Die Molecularströme haben einen solchen Widerstand nicht zu überwinden und dauern ungeschwächt fort; sie können erst wieder gehemmt

werden, wenn durch Entfernung des erregenden Körpers entgegengesetzt gerichtete Ströme zum Vorschein kommen. Die gewöhnlichen Inductionsströme können sich in Isolatoren nicht bilden, dagegen sind aber die inducirten Molecularströme in denselben möglich.

Den Schluß des Buches bildet ein kurzer Abriß aus der Elektrophysiologie, worunter man alle diejenigen elektrischen Erscheinungen versteht, welche an organischen Wesen, so lange sie im Besitz ihrer Lebenseigenschaften sind, mit passenden Vorrichtungen unabhängig von jeder weiteren Zuthat wahrgenommen werden können. Zunächst wurde bemerkt, wie die Existenz des sogenannten Froschstromes mittelst des Multiplicators dargethan worden. Hierauf geschah Erwähnung der mit dem sorgsamsten Fleiße ausgeführten Untersuchungen des Berliner Physikers Dubois Reymond, welche das Vorhandensein eines Muskelstromes in allen Thierklassen und beim Menschen aufs Bestimmte nachgewiesen haben. Dann ward des Nervenstromes gedacht, den erst zu beobachten und dessen Gesetze zu ermitteln diesem Physiker gelungen ist. So sind denn aus dem galvanischen Grundversuche zwei höchst merkwürdige Zweige der menschlichen Erkenntniß erwachsen, deren eine das jetzige Gebiet des Voltaismus umfaßt und der andere auf das schwierig zu bearbeitende Feld der thierischen Elektricität sich erstreckt. — Mit dieser ohnstreitig im hohen Grade interessanten Entdeckung der thierischen Muskel- und Nervenphysik sind wir jedoch noch keineswegs in Stand gesetzt, die besondern Vorgänge in den lebenden Organismen zu erklären, den letzten Grund der Erscheinungen des Lebens anzugeben. Aus den in der unorganischen Natur waltenden Kräften vermögen wir die psychischen Erscheinungen allein nicht abzuleiten oder zu erklären: wir sind daher berechtigt, eine eigenthümliche psychische Kraft anzunehmen, welche jenen psychischen Phänomenen zum Grunde liegt. Wie wir von einer Elektricität sprechen, die sich gar verschiedenartig äußert, dürfen wir wohl auch von einer psychischen Kraft oder Seele reden, welche sich durch vielseitige Aeußerungen kundgibt.

# Inhalt.

## Erste Abtheilung: Die statische Elektricität mit dem ersten Theil der dynamischen Elektricität und dem Magnetismus.

### Erster Abschnitt: Von der Reibungselektricität.

#### I. Phänomene der elektrischen Spannung.

## V. Elektrochemie.



---

## Zweite Abtheilung: **Der zweite Theil der dynamischen Elektricität und die Thermoelektricität nebst dem Diamagnetismus.**

Erster Abschnitt: **Elektromagnetismus und Elektrodynamik.**

# Erste Abtheilung.

# Die statische Elektricität und der erste Theil der dynamischen Elektricität nebst dem Magnetismus.

## Erster Abschnitt.

## Von der Reibungselektricität.

### I. Phänomen der elektrischen Spannung.

#### 1. Elektricität durch Reibung. — Gute und schlechte Leiter. — Positive und negative Elektricität. — Elektricität durch Druck und Trennung.

Die Theilchen der Körper können auf mannigfaltige Weise in vorübergehende Zustände versetzt werden, in welchen sie gegen einander eine eigenthümliche in die Ferne wirkende Anziehung und Abstoßung ausüben. Ein solcher Zustand ist der sogenannte elektrische, weil man ihn zuerst am Bernstein bemerkt hat, welcher im Griechischen den Namen Elektron führt. Im Laufe der Zeit hat man jedoch erkannt, daß unter gewissen Umständen allen Körpern eine derartige Eigenschaft zukommt, welche man mit der Benennung Elektricität zu bezeichnen pflegt. Durch Reibung entsteht eine solche Elektricität, mit welcher wir uns zunächst beschäftigen wollen. Man reibe Glas oder Siegellack mit einem recht trockenen Katzenfelle oder mit einem Stücke Wollenzeug und bringe dann jene Stoffe in die Nähe von einigen auf einem Tische liegenden leichten Körperchen, wie feine Papierstreifen, Holzspähne, Flaumfedern, kleine Korkkügelchen. Man sieht diese Körperchen von den geriebenen Substanzen angezogen, hierauf abgestoßen und nachdem sie den Tisch berührt haben abermals angezogen und dann wieder zurückgestoßen. Bei kräftigem Reiben von größeren Massen, z. B. eines Cylinders oder einer Scheibe von Glas, die man zwischen festgemachte Kissen preßt und mittelst einer Kurbel bewegt, äußert

sich die Anziehung und Abstoßung weit lebhafter. Auch hört man ein Knistern und sieht im Finstern einen Lichtschein, wenn man den geriebenen Körper mit dem Finger berührt. Nähert man einem solchen Körper das Gesicht, so hat man das Gefühl, als wäre man in ein Spinngewebe gerathen. Nach längerem Reiben entwickelt sich ein eigenthümlicher, dem des brennenden Phosphors ähnlicher Geruch. Von einem Körper, welcher dergleichen Erscheinungen zeigt, sagt man, er befinde sich im elektrischen Zustande oder er sei elektrisirt. — Wir wissen nichts Bestimmtes über die Beschaffenheit der Grundursache auszusagen, von welcher die elektrischen Erscheinungen abhängen, wie wir denn auch im Dunkeln darüber sind, auf welche Weise ihre Wirksamkeit durch Reibung hervorgerufen wird. Dies hindert uns jedoch nicht jene unbekannte Grundursache ein für allemal mit dem Namen Elektricität zu bezeichnen, späteren Untersuchungen anheimgebend weiteren Aufschluß darüber uns zu verschaffen.

In allen glasartigen und harzartigen Stoffen, ferner Schwefel, Wolle, Seide und vollkommen trockenem Holz läßt sich durch Reibung die Elektricität entwickeln. Allein vergebens sucht man sie in feuchten vegetabilischen Substanzen und in Metallen zum Vorschein zu bringen, wenn man diese Körper mit einer Hand festhält und sie mit der andern mit einem Katzenfelle oder einem Stücke Wollenzeug reibt. Man theilte deßhalb die Körper in zwei große Klassen, nämlich in elektrische und unelektrische, weil man die ersteren allein für fähig hielt, durch Reibung elektrisch zu werden. Eine solche Eintheilung ist aber fehlerhaft. — Denn wird eine Metallplatte nicht unmittelbar mit der Hand, sondern mittelst einer daran befestigten Handhabe aus Glas oder Harz gehalten und dann mit einem Katzenfelle oder einem wollenen Tuche gerieben; so wird die Platte sofort elektrisch werden. Die Elektricität wird aber auf der Stelle verschwinden, wenn man die Platte mit dem Finger oder einem anderen Metalle berührt. Die Metalle können mithin ebenfalls durch Reibung die elektrischen Eigenschaften annehmen; sie sind aber unfähig die Elektricität festzuhalten. Die auf ihnen entwickelte Elektricität verbreitet sich augenblicklich, wenn man das Metall mit dem Finger berührt, über die ganze Oberfläche des menschlichen Körpers, von welcher sie auf den unermeßlichen Erdboden übergeht und daselbst gänzlich verschwindet. Aus diesem Grunde nennt man auch öfters die Erde den gemeinschaftlichen Behälter der Elektricität. — Reibt man eine Siegellackstange oder eine Glasröhre nur an einem Ende, so zeigt nur das geriebene Ende bemerkbare Zeichen einer elektrischen Reaction, nicht aber das andere Ende. Hieraus muß man schließen, daß in diesen Körpern die Elektricität sich nicht von einem Theilchen zum andern fortpflanzt. — Reibt man dagegen das Ende eines an einem gläsernen Griffe befestigten Metallstabes mit einem Stücke Seide oder Wachs-

taffet, so findet man, daß die an dem Ende erregte Elektricität sich sofort über die ganze Oberfläche des Metallstabes verbreitet hat.

Die Elektricität läßt sich also einem noch unelektrischen Körper mittheilen. — Bei dieser Mittheilung zeigen aber die Körper sehr große Unterschiede. Gewisse Stoffe, wie Glas und Harz, nehmen die Elektricität nur schwer an, wenn sie mit elektrischen Körpern in Berührung kommen und pflanzen die Elektricität nicht durch ihre Masse fort: derlei Stoffe heißen schlechte Leiter der Elektricität. — Andere Substanzen, wie Metalle und geglühte Kohle, nehmen bei der Berührung mit einem elektrischen Körper nicht nur die Elektricität an der Berührungsstelle an, sondern verbreiten die angenommene Elektricität über ihre ganze Oberfläche: solche Stoffe nennt man gute Leiter der Elektricität. — In Betreff der Leitungsfähigkeit der Elektricität zeigen die Körper unzählige Abstufungen und es lassen sich zwischen guten und schlechten Leitern keine scharfe Grenzen ziehen. Halbleiter heißen diejenigen Stoffe, welche ein Verhalten zu erkennen geben, das zwischen guter und schlechter Leitung gleichsam in der Mitte steht. — Die besten Leiter sind die Metalle, der Graphit, Kork, ausgeglühte Kohle; dann Salzlösungen, Wasser, der thierische Körper, die Vegetabilien. Zu den schlechten Leitern gehören Schwefel, Harz, Schellack, Kautschuck; ferner Seide, Glas, Wolle, Haare. Zu den Halbleitern rechnet man Marmor, Alabaster, Knochen, Kreide. — Die atmosphärische Luft ist ein schlechter Leiter der Elektricität, ihre Leitungsfähigkeit nimmt aber mit ihrem Gehalt an Wasserdunst zu, daher gelingen die elektrischen Versuche bei kaltem und trockenem Wetter besser als bei feuchtem. Auch ändert sich das Leitungsvermögen eines Körpers mit den Umständen. So z. B. ist Glas bei gewöhnlicher Temperatur ein schlechter Leiter, dagegen ein guter Leiter, wenn es bis zum Rothglühen erhitzt wird; das Wasser leitet die Elektricität ziemlich gut, während das trockene Eis die Elektricität fast gar nicht leitet.

Soll ein guter Leiter die auf ihm angehäufte Elektricität nicht verlieren, so muß man ihn allenthalben mit schlechten Leitern umgeben oder wie man sagt isoliren. Ein Leiter wird am besten isolirt, wenn man ihn auf Füße von Glas stellt oder an seidenen Schnüren aufhängt. Die auf dem Glase befindlichen Wasserdünste thuen der isolirenden Eigenschaft desselben Eintrag; daher das Glas sorgfältig mit warmen trockenen Tüchern abgetrocknet werden muß, wenn es als Isolator dienen soll. — Steht ein Mensch auf dem sogenannten Isolirstuhle, d. h. auf einem Brette, welches auf vier massiven Glasfüßen ruht, so läßt sich die ihm mitgetheilte Elektricität zurückhalten, dergestalt daß er überall elektrisch ist und jeder Stelle seines Körpers Funken entlockt werden können, bei deren Hervortreten er an der betreffenden Stelle einen stechenden Schmerz

1*

empfindet. — Eine Kugel von Metall mit einer Handhabe von Glas oder ein Scheibchen aus Goldpapier mit einem Stiele aus Schellack dient zum Uebertragen der Elektricität von der Stelle eines Körpers auf andere Körper. Man nennt dergleichen Vorrichtungen elektrische Ueberträger oder elektrische Probescheiben. — Berührt man einen isolirten elektrisirten Leiter mit einem andern nicht elektrisirten gleichfalls isolirten Leiter, so erleidet er einen desto größeren Verlust an Elektricität, je beträchtlicher die Oberfläche des zweiten Leiters ist. Daher begreiflich, warum ein elektrisirter Leiter alle seine Elektricität verliert, sobald er mit dem Erdboden leitend verbunden ist. — Nähert man ein an einem Seidenfaden aufgehängtes Hollundermarkkügelchen einem elektrischen Körper, so wird es angezogen und dann abgestoßen. Bringt man dagegen ein derartiges an einem Leinenfaden befestigtes Kügelchen in die Nähe eines elektrisirten Körpers, so wird das Kügelchen wie zuvor von demselben angezogen, aber nie abgestoßen. Dies kommt daher, daß die dem Kügelchen mitgetheilte Elektricität sofort durch den Leinenfaden entweicht und immer in dem Zustande verbleibt, in welchem es zur Anziehung bereit ist. Das an dem Seidenfaden aufgehängte Kügelchen wird aber ebenfalls wieder angezogen, wenn man ihm durch Berührung mit dem Finger oder durch Verbindung mit dem Erdboden seine Elektricität entzieht. Jeder elektrisirte Körper zieht demnach den im natürlichen Zustande befindlichen, nahe liegenden leicht beweglichen Körper an und stößt dann denselben zurück, nachdem er einen Theil seiner Elektricität ihm mitgetheilt hat.

Es gibt zwei verschiedenartige elektrische Zustände, deren Kennzeichen wir durch folgenden einfachen Satz aussprechen können: Körper, die mit gleichartiger Elektricität geladen sind, stoßen einander ab; Körper, die mit ungleichartiger Elektricität geladen sind, ziehen einander an. — Zur Nachweisung dieser Thatsache dienen nachstehende Versuche. Man theile einem an einem isolirenden Seidenfaden aufgehängten Hollundermarkkügelchen die Elektricität von einer mit Tuch geriebenen Glasröhre mit und nähere dann abwechselnd dem elektrisirten Kügelchen bald die geriebene Glasröhre bald eine auf dieselbe Weise geriebene Harzstange: das Kügelchen wird in dem ersten Falle abgestoßen, im zweiten aber angezogen. — Die nämlichen Erscheinungen nimmt man wahr, wenn man das Hollundermarkkügelchen zuerst durch die geriebene Harzstange elektrisirt und ihm dann die Harzstange und die mit Tuch geriebene Glasröhre nähert. — Der elektrische Zustand des Glases ist demnach wesentlich verschieden von jenem des Harzes. Der französische Physiker Dufay beobachtete zuerst diesen wichtigen Unterschied und nannte die eine Elektricität von der Art, wie sie in dem mit Tuch geriebenen Glase sich entwickelt, die Glaselektricität; die andere von

der Art, wie sie in dem mit Tuch geriebenen Harze hervortritt, die Harzelektricität.

Man lege einen durch Reibung elektrisch gemachten Glasstab in eine Papierhülse, welche an einem isolirenden ungedrehten Seidenfaden aufgehängt ist. Nähert man nun diesem Stabe einen zweiten auf die nämliche Weise geriebenen Glasstab, so wird der leicht drehbare Stab abgestoßen; dagegen angezogen, wenn man eine geriebene Harzstange in die Nähe bringt. — Dieselben Erscheinungen beobachtet man, wenn man einen elektrisirten Harzstab in die Hülse legt und ihm dann eine geriebene Harzstange und einen geriebenen Glasstab nähert. — Die Abstoßung gleichartig elektrischer Körper sieht man deutlich an zwei Hollundermarkkügelchen, die an den beiden Enden eines leinenen Fadens befestigt sind, welcher in seiner Mitte an einen Seidenfaden aufgehängt ist. Berührt man nun die Kügelchen mit einer geriebenen Glasröhre oder Harzstange, so werden die beiden Hälften des leinenen Fadens auseinander weichen. — Eine derartige Abstoßung läßt sich auch gut mit zwei Collodiumballons zeigen, die an dünnen Seidenfäden nebeneinander aufgehängt sind. Streicht man jeden dieser Ballons ein oder zweimal mit der trockenen Hand, so werden sie dadurch elektrisch und stoßen einander ab.

Man nehme zwei getrennte isolirte Kügelchen von Hollundermark und ertheile dem einen Kügelchen Elektricität der Glasstange, dem andern Elektricität der Harzstange mit. In einer passenden Entfernung von einander gebracht ziehen die Kügelchen einander an und geben, wenn man bei der Mittheilung der verschiedenen Elektricitäten das rechte Maß getroffen hat, nach der Berührung kein Zeichen von Elektricität mehr. Hat man die beiden Elektricitäten nicht im rechten Maße genommen, so zeigen sich die Kügelchen mit der im Ueberschusse vorhandenen Elektricität geladen, nachdem sie mit einander in Berührung gekommen sind. Die durch Reiben des Glases erzeugte Elektricität und die durch Reiben des Harzes erregte Elektricität heben sich also gegenseitig ganz oder zum Theil auf, wie die in der Mathematik vorkommenden entgegengesetzten Größen. — Von dieser wichtigen Thatsache überzeugt man sich auch folgendermaßen. Man lade einen isolirten Leiter zuerst mit Elektricität der einen Art und dann stufenweise mit Elektricität der andern Art. Der elektrische Zustand des Leiters wird allmählig schwächer werden, dann bis zum unelektrischen oder natürlichen Zustand herabsinken und zuletzt in den entgegengesetzten elektrischen Zustand übergehen.

Wegen dieses gegenseitigen Verhaltens der beiden Elektricitäten ist man übereingekommen, die eine die positive und die andere die negative zu nennen und dafür die Zeichen $+\varepsilon$ und $-\varepsilon$ zu gebrauchen. Es ist gleichgültig, welche Elektricität diesen oder jenen Namen bekommt;

gewöhnlich wird aber die Elektricität des mit Tuch geriebenen Glases die positive genannt. — Die Ausdrücke „positive und negative Elektricität“ sollen nichts anders als zwei verschiedene elektrische Zustände bezeichnen, deren Existenz eine wohl begründete Thatsache ist. Damit ist jedoch nichts Näheres über das eigentliche Wesen jener zwei verschiedenen elektrischen Zustände ausgesprochen, obschon jedem dieser Zustände eine besondere nächste Ursache zum Grunde liegen muß. Nur so viel ist gewiß, daß wenn ein isolirter Leiter, der schon eine gewisse Menge positiver Elektricität besitzt, eine gleich große Menge negativer Elektricität erhält, seine Elektricität Null wird oder der Leiter in den unelektrischen Zustand zurückkehrt.

Bei der Reibung irgend zweier verschiedener Körper nimmt der eine die positive, der andere die negative Elektricität an. Um diesen Satz durch den Versuch zu bewahrheiten, muß man die beiden aneinander zu reibenden Körper gehörig isoliren. Wenn es geschehen kann, ist es gut die zu reibenden Stoffe in Gestalt von Scheiben anzuwenden, damit die Reibung auf einer größeren Oberfläche stattfinde. Nachdem man die zwei Körper einige Zeit gegeneinander gerieben hat, nähere man sie einem an isolirendem Seidenfaden aufgehängten Hollundermarkkügelchen, dem man vorher eine bekannte Art der Elektricität mitgetheilt hat. Stets wird das Kügelchen von dem einen Körper angezogen, von dem andern aber abgestoßen, zum Beweise daß die beiden Körper verschiedene Elektricitäten haben. — Läßt man die zwei geriebenen Körper während ihrer Annäherung an das Hollundermarkkügelchen in Berührung, so zeigt sich weder eine Anziehung noch eine Abstoßung; woraus hervorgeht, daß die beiden entgegengesetzten Elektricitäten in gleicher Menge vorhanden sind. — Was übrigens die Art der Elektricität anlangt, welche der geriebene Körper annimmt; so läßt sich darüber noch nichts Bestimmtes aussagen, weil die geringfügigsten Umstände dabei von Einfluß sind. So z. B. wird blankes Glas positiv elektrisch beim Reiben mit Wolle, dagegen negativ elektrisch beim Reiben mit Katzenfell. Mattgeschliffenes Glas wird beim Reiben mit Wolle negativ, die Wolle aber positiv elektrisch. Auch zwei gleichartige Körper können beim Reiben entgegengesetzt elektrisch werden, wenn die Bedingungen nicht ganz gleich sind, unter denen jene Körper zusammentreffen. Beim Reiben von polirtem und mattgeschliffenen Glase wird das erstere positiv, das letztere negativ elektrisch. Von zwei kreuzweis geriebenen weißseidenen Bändern desselben Stückes nimmt das der Quere nach geriebene die negative Elektricität, das andere die positive Elektricität an.

Schlägt eine auf einem Isolatorium stehende Person mit einem recht trockenen Katzenfelle die Kleider einer zweiten auf einem anderen Isolatorium befindlichen Person, so erhält erstere die positive Elektricität, die

zweite die negative Elektricität. Ist blos eine der beiden Personen isolirt, so wird nur diese Person Zeichen von Elektricität geben, und es wird weder die eine noch die andere sich elektrisch zeigen, wenn beide von dem Isolirstuhle herunter gestiegen sind. — Das Katzenfell ist zu diesem Versuche recht geeignet, weil es sehr leicht elektrisch wird. Daher kommt es denn auch, daß, wenn man bei trockenem Wetter mit der Hand über den Rücken einer lebenden Katze streicht, ihre Haare sich sträuben und von der Hand angezogen werden. — Eine Zusammenstellung mehrerer Substanzen hinsichtlich ihres elektrischen Verhaltens dergestalt, daß jede dieser Substanzen durch Reibung mit der nachfolgenden positiv und durch Reibung mit der vorausgehenden negativ elektrisch wird, ist folgende: Schwefel, Bernstein, Colophonium, Schellack, Siegellack, schwarze Seide, weiße Seide, Papier, Wolle, Glas, Hasenfell, Katzenfell. Die Elektricitätserregung ist desto stärker, je weiter zwei Körper in dieser Reihe auseinanderstehen. So wird z. B. Schwefel durch Reiben mit Katzenfell stärker negativ elektrisch als durch Reiben mit Wolle. — Man sieht aus dem angeführten Verzeichniß, daß zwischen der Beschaffenheit der Substanzen und der Art der in ihnen entwickelten Elektricität keine hervortretende Beziehung stattfindet. Zudem wechselt selbst die Stelle jeder Substanz in diesem Verzeichniß, wenn man ihre Temperatur oder die Beschaffenheit ihrer Oberfläche ändert.

Durch Reibung von Flüssigkeiten an feste Körper kann ebenfalls Elektricität erzeugt werden. Läßt man einen feinen Quecksilberregen über einen ganz trockenen Glascylinder fallen, so findet man, daß er elektrisch geworden ist, wenn man ihm ein an einem Seidenfaden schwebendes Hollundermarkkügelchen nähert. — Diese Thatsache dient zur Erklärung einer Erscheinung, welche bei vollkommen luftfreien Barometern beobachtet wird. Neigt man nämlich ein solches Instrument dergestalt, daß die Quecksilbersäule den leeren Theil der Röhre schnell anfüllt; so sieht man, wenn der Versuch im Finstern angestellt wird, einen phosphorescirenden Schimmer in Folge der Reibung des Quecksilbers gegen die Glaswände.

Die Elektricität läßt sich auch durch Reibung einer Gasart gegen feste Körper erregen. Richtet man einen kräftigen Luftstrom gegen die Oberfläche einer Glasplatte, so nimmt sie die positive Elektricität an. Ein recht trockenes seidenes Schnupftuch wird negativ elektrisch, wenn man es lebhaft in der Luft schwenkt. — Beim Ausströmen comprimirter Luft fand man in vielen Fällen die Gefäße, nachdem sie isolirt waren, so stark elektrisch, daß sie Funken gaben. — Die Reibung, welche die Wandungen der Dampfkessel durch den entweichenden Wasserdampf erleiden, erzeugt beträchtliche Mengen von Elektricität. Diese Erscheinung hat man in der neuesten Zeit zur Construction von Maschinen benutzt, welche eine ungleich

große Quantität von Elektricität liefern im Vergleich zu anderen elektrischen Maschinen.

Ein zweites mechanisches Erregungsmittel der Elektricität ist der Druck. Man drücke eine isolirte Metallscheibe an gefirnißten Wachstaffet. Nach Hinwegnahme der Scheibe findet man, daß diese die negative Elektricität besitzt, während der Taffet die positive Elektricität hat. Je stärker der Druck ist, desto beträchtlicher wird die elektrische Reaction. Die Reibung hat keinen Antheil an dieser Erscheinung; denn wird die Scheibe auf dem Taffet gerieben, so wird die Scheibe positiv, der Taffet negativ elektrisch, während der Druck die entgegengesetzte Erscheinung zur Folge hatte. — Ein Doppelspath zwischen den Finger gedrückt wird merklich positiv elektrisch. — Wenn man eine Kork- und eine Kautschuckplatte gegen einander drückt, so wird die erstere positiv, die andere negativ elektrisch. — Wenn man eine isolirte Orangeschale und eine isolirte Korkscheibe zusammendrückt, so zeigt sich erstere negativ, letztere positiv elektrisch: die dabei auftretende Elektricität ist desto beträchtlicher, je schneller die Körper von einander getrennt werden. — Versuche, welche Becquerel auf diese Weise mit vielen Körpern angestellt hat, haben gelehrt, daß durch Druck jeder Körper in einen elektrischen Zustand versetzt werden kann. Wenn die aneinander gedrückten Körper isolirt sind, zeigen sie die ungleichnamigen Elektricitäten. Wenn nur einer davon isolirt ist, so gibt dieser immer bemerkbare Zeichen von freier Elektricität; am andern wird die entgegengesetzte Elektricität wahrgenommen, insofern er ein schlechter Leiter ist. — Die Menge der hervorgerufenen Elektricität wird durch die Natur der zusammengedrückten Körper, durch die Leitungsfähigkeit, Temperatur und Beschaffenheit der Oberfläche der gedrückten Substanzen bestimmt. Körper, welche stark aneinander haften, liefern mehr Elektricität als solche, bei denen dies in einem geringeren Grade der Fall ist. — Je geringer die Leitungsfähigkeit der zusammengedrückten Körper ist, desto größer wird die Menge der entwickelten Elektricität unter sonst gleichen Umständen. Bei guten Leitern bemerkt man keine Spuren einer elektrischen Reaction, weil in dem Augenblicke, in welchem der Druck aufhört, sich die entgegengesetzten Elektricitäten vereinigen. — Den Einfluß der Temperatur auf die Elektricitätserregung beweiset der Umstand, daß zwei Korkscheiben, welche durch einen Druck keine elektrische Ladung annehmen, bemerkbare Zeichen von Elektricität geben, sobald eine dieser Scheiben erwärmt wird. — Die größere oder geringere Feuchtigkeit der umgebenden Luft modificirt ebenfalls die Menge der frei gewordenen Elektricität; denn Schwerspath, Gips, Glimmer, Kork zeigen jederzeit nach dem Drucke merkliche Spuren von Elektricität, wenn sie vorher abgetrocknet wurden. — Die Beschaffenheit

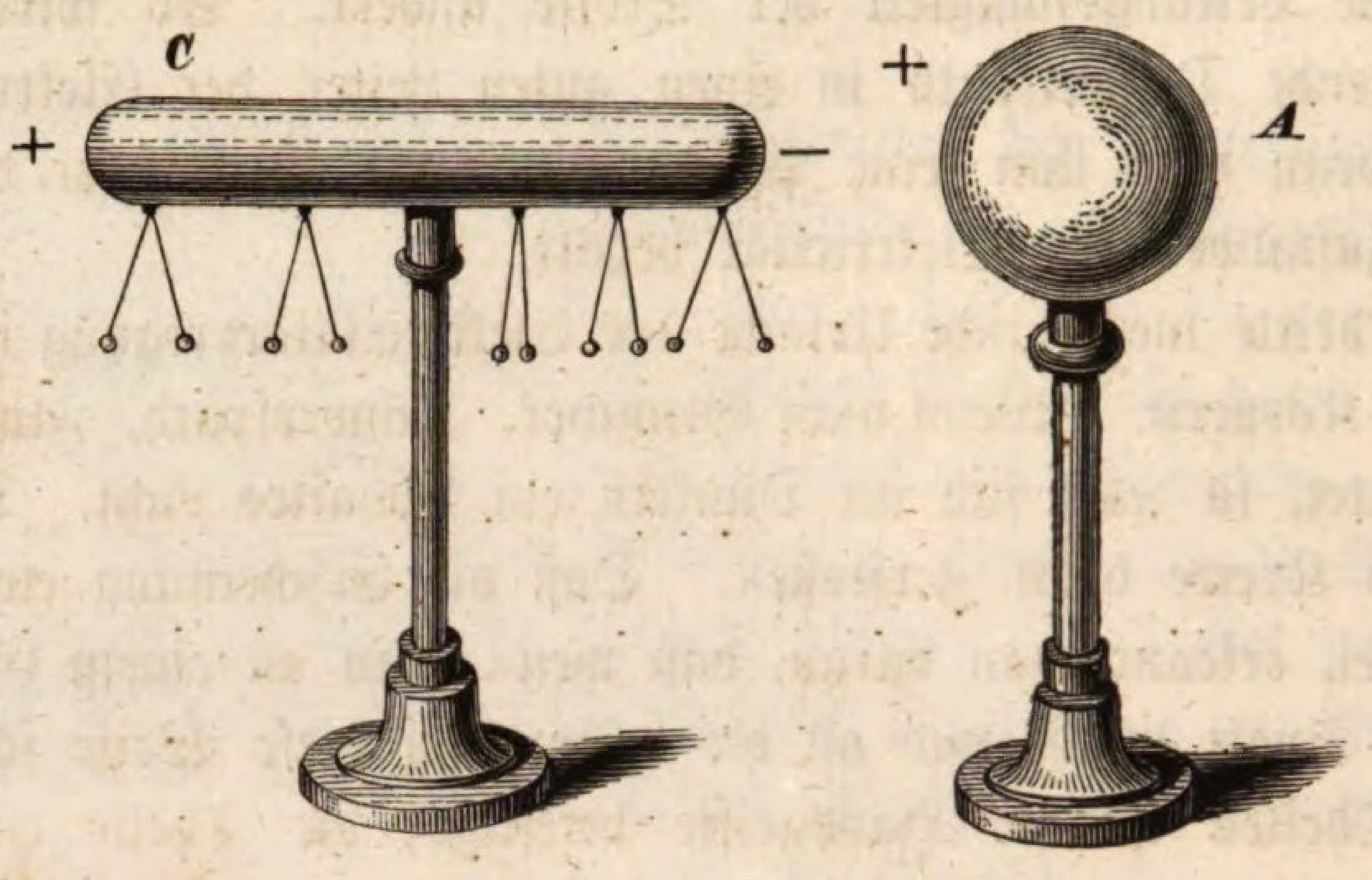
der Oberfläche macht sich bei diesen Erscheinungen gleichfalls geltend, insoweit sie die Leitungsfähigkeit der Stoffe ändert. So wird z. B. der schlecht leitende Doppelspath in einen guten Leiter der Elektricität umgewandelt, wenn man ihm seine Politur benimmt, so daß er dann nur im isolirten Zustande seine Elektricität behält.

Eine dritte mechanische Ursache der Elektricitätserregung ist die Trennung von Körpern. Wenn man Glimmer, Schwerspath, Flußspath, Talk schnell spaltet, so zeigt sich im Dunkeln ein lebhaftes Licht. Dasselbe thun Zucker und Kreide beim Zerstoßen. Daß die Erscheinung elektrischen Ursprunges sei, erkennt man daran, daß wenn man an einem Glimmerblättchen einen Spalt macht und an die beiden auf diese Weise schon halb getrennten Theilen isolirte Handgriffe befestigt, die Theile entgegengesetzte Elektricität zeigen. — Eine solche Scheidung der beiden Elektricitäten läßt sich bei jeder Trennung der Theile eines Körpers wahrnehmen, namentlich wenn er nicht zu den guten Leitern gehört. In höherem Grade besitzen diese Eigenschaft alle blätterigen und überhaupt alle vollkommen krystallisirten Körper, besonders wenn die Spaltung nach einem bestimmten Blätterdurchgange geschieht. Fraueneis und verschiedene andere Substanzen geben erst dann bemerkbare Zeichen von Elektricität, wenn sie vor der Trennung erwärmt worden sind. — Zerbricht man eine Siegellackstange, so zeigt das eine Ende positive, das andere negative Elektricität. — Schwefel, Wachs elektrisiren sich, wenn man sie schnell von einer Glasplatte abhebt, auf welcher sie fest geworden sind.

## 2. Elektricität durch Vertheilung. — Bewegung leichter Körperchen.

Die Elektricität läßt sich in einem Körper nicht blos durch Mittheilung, sondern auch schon durch Wirkung eines elektrisirten Körpers aus der Ferne hervorrufen. Man nennt diesen Act die Elektrisirung durch Vertheilung und sagt von einem Körper, welcher eine derartige Wirkung eines elektrischen Körpers erfährt, daß er in der elektrischen Wirkungssphäre desselben sich befinde. — Um diese Elektricitätserregung durch den Versuch nachzuweisen, bedient man sich eines cylindrischen isolirten Leiters (Fig. 1) von Messingblech, an welchem von einer Stelle zur andern zwei kleine Hollundermarkkügelchen an leinenen Fäden herabhängen. Bringt man nun diesen Leiter in die Nähe eines elektrisirten Körpers A, so divergiren die Fäden und zwar am meisten an den beiden Enden des Leiters und weniger nach der Mitte zu, welche keine elektrische Reaction zu erkennen gibt. Im Uebrigen ändert sich die Lage des Punktes, an welchem die Elektricität verschwindet, nach der Stärke der Ladung und dem Abstande des vertheilenden Körpers; im Allgemeinen liegt er mehr nach dem diesem Körper zugekehrten Ende des Leiters zu. — Nähert man,

Fig. 1.




während der Leiter unter dem Einflusse des elektrischen Körpers steht, den Hollundermarkkügelchen eine geriebene Glas- oder Harzstange, so kann man die Beschaffenheit der elektrischen Zustände des Leiters erfahren. Man findet auf diese Weise, daß die dem elektrisirten Körper zunächst befindlichen Theile des Leiters die entgegengesetzte Elektricität, dagegen die entfernteren Theile des Leiters die nämliche Elektricität wie der elektrisirte Körper besitzen. — Wenn man den Leiter außerhalb des Wirkungskreises des elektrischen Körpers versetzt, so vereinigen sich die getrennten Elektricitäten auf dem Leiter wieder und er zeigt keine Spur von Elektricität mehr. Die nämlichen Erscheinungen treten so oft hervor, ohne eine Veränderung zu erfahren, wenn man zu wiederholtenmalen den Leiter innerhalb des Wirkungskreises des elektrisirten Körpers bringt.

Aus dem Hergange der elektrischen Vertheilung ist ersichtlich, daß jeder Körper den Grund der beiden elektrischen Zustände schon ursprünglich in sich selbst enthält. Weil diese beiden Elektricitäten, wenn der Leiter außerhalb der Wirkungssphäre des elektrisirten Körpers steht, sich wechselseitig neutralisiren; so ist der unelektrische oder natürliche Zustand eines Körpers als das Ergebniß eines gleichmäßigen Zusammenbestehens beider Elektricitäten zu betrachten. — Die Reibung ist demnach ein Mittel, die beiden Elektricitäten aus diesem Zustande der Verbindung frei zu machen und sie besonders zur Wahrnehmung zu bringen. Ebenso nöthigt die Einwirkung eines elektrisirten Körpers in die Ferne beide Elektricitäten, sich zu trennen in der Art, daß die ungleichnamigen Elektricitäten einander zunächst liegen, während die gleichnamige Elektricität auf die entfernteren Theile zurückgedrängt wird. — Die beiden entgegengesetzten Elektricitäten sind fortwährend bestrebt, sich miteinander zu vereinigen: der elektrische Zustand ist demnach immer ein Zwangszustand, in welchem die vorhandene Elektricität das Bestreben hat, sich mit der entgegengesetzten Elektricität

der nächsten Umgebung zu verbinden und dadurch den Zwangszustand aufzuheben. — Ist bei einem derartigen Bestreben die Elektricität an gewisse Stellen eines Körpers gebunden, so befindet sie sich gewissermaßen in einem Zustande des Gleichgewichtes, welcher mit dem Worte elektrische Spannung bezeichnet wird. Die Wirkungen, welche die Elektricität im Zustande des Gleichgewichtes äußert, und die Gesetze, nach denen sie erfolgen, bilden den Gegenstand der Elektrostatik. — Bei der Vereinigung der getrennten Elektricitäten erscheint die Elektricität im Zustande der Bewegung; dieser Zustand heißt elektrischer Strom. Die Wirkungen der elektrischen Ströme und die dabei stattfindenden Gesetze machen den Gegenstand der Elektrodynamik aus. Obschon beide Zustände, nämlich das Bestreben nach Ausgleichung und der Act der Ausgleichung sich nicht scharf von einander trennen lassen; so werden wir doch uns vorzugsweise zunächst mit der statischen und dann mit der dynamischen Elektricität befassen.

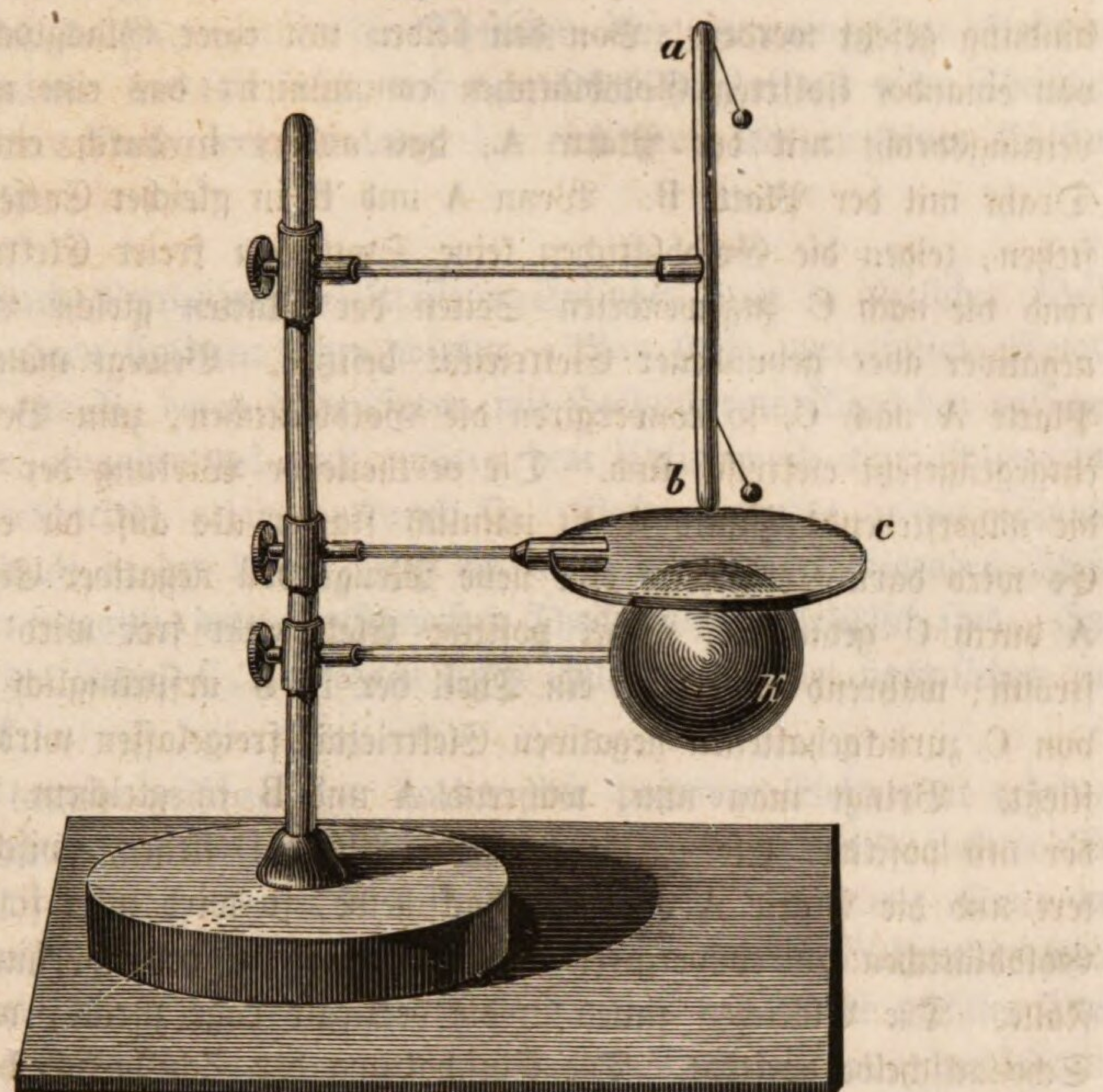
Wir kehren zu unserem letzt angeführten Versuche zurück, indem wir das von dem elektrischen Körper entferntere Ende des cylindrischen Leiters mit dem Erdboden in leitende Verbindung setzen. In diesem Falle fließt diejenige Elektricität des Leiters ab, welche mit der des elektrisirten Körpers gleichnamig ist, und die an dem von diesem Körper abgewendeten Ende des Leiters befindlichen Hollundermarkkügelchen entfernen sich nicht mehr von einander. Dagegen bleibt die elektrische Reaction auf dem dem elektrischen Körper zunächst gelegenen Theile; ja sie wird sogar noch stärker, was sich durch eine lebhaftere Abstoßung der Hollundermarkkügelchen zu erkennen gibt. Man sagt darum, diese Elektricität sei gebunden. — Isolirt man jetzt den Cylinder von Neuem und entfernt dann den elektrischen Körper, so kehrt der Cylinder nicht in den natürlichen Zustand zurück, sondern er bleibt mit der dem elektrischen Körper entgegengesetzten Elektricität geladen. Diese Elektricität hört jetzt auf gebunden zu sein und verbreitet sich auf den ganzen Leiter; daher denn auch die an demselben hängenden Hollundermarkkügelchen sich weniger stark als vorher abstoßen. Dasselbe Resultat erhält man auch, von welchem Punkte aus der Leiter mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt werden mag. Denn die Erde, die Ableitungskette und der Cylinder bilden einen zusammenhängenden Leiter, der unter dem Einflusse des elektrisirten Körpers steht. Die seiner Elektricität gleichnamige Elektricität wird deßhalb stets in den Erdboden abfließen und die entgegengesetzte von dem elektrisirten Körper zurückgehalten werden, nach dessen Entfernung diese Elektricität wieder frei wird. — Bringt man eine metallische Spitze an das Ende des Leiters C, welches dem elektrischen Körper A abgekehrt ist, so ist der Cylinder nur mit einer Art von Elektricität geladen, nämlich mit der entgegengesetzten des elektrischen Körpers. Die durch den Einfluß dieses Körpers nach der Spitze

des Cylinders hingetriebene Elektricität, entweicht durch die Spitze fortwährend in die Atmosphäre.

Anstatt die Vorgänge bei der Elektricitätserregung durch Vertheilung mittelst an leinenen Fäden hängenden Hollundermarkkügelchen zu untersuchen, kann man sich auch des Probescheibchens bedienen. Man berührt zu diesem Behufe mit dem Scheibchen den isolirten Leiter an verschiedenen Stellen und nähert hierauf das Scheibchen einem an einem Seidenfaden hängenden mit einer bestimmten positiven oder negativen Elektricität geladenen Hollundermarkkügelchen. Das Kügelchen wird von der Probescheibe angezogen, wenn es mit der Elektricität der einen Hälfte des Cylinders geladen ist, dagegen von der Probescheibe abgestoßen, wenn es mit der Elektricität der andern Hälfte versehen wird. — Manche Physiker wollen bei ihren Versuchen über die Elektricität durch Vertheilung gefunden haben, daß der isolirte Cylinder in seiner ganzen Ausdehnung mit gleichnamiger und zwar stets mit derselben Elektricität geladen sei, welche der vertheilende Körper besitzt. Der Grund dergleichen abweichender Resultate liegt ohnstreitig wohl darin, daß die ungleichartige in dem dem vertheilenden Körper zugekehrten Ende des Cylinders angesammelte Elektricität eine gebundene ist, mithin sich weniger bemerklich machen kann als die gleichartige in dem abgekehrten Ende des cylindrischen Leiters vorhandene Elektricität, welche sich im freien Zustande befindet.

Im Uebrigen hat Peter Rieß den Versuch über die elektrische Vertheilung auf eine Weise ausgeführt, die jeden Zweifel beseitigt. Ein cylindrischer Messingstab a b (Fig. 2) wird mittelst eines isolirenden Glasarmes, der an einem passenden Stativ sich auf und nieder schieben läßt, in verticaler Stellung erhalten. Das Stativ trägt außerdem die Glasscheibe c und die hohle Messingkugel k, welche beide so gestellt sind, daß ihre Mittelpunkte in der verticalen Achse des Stabes liegen. Ohngefähr einen Centimeter weit ist die Kugel von dem Stabe entfernt, zwischen denen die Glasscheibe sich befindet. An den beiden Enden des Metallstabes hängen an leinenen Fäden zwei Hollundermarkkügelchen herab, welche von dem Metallstabe abgestoßen werden, wenn man der Kugel k Elektricität mittheilt. — Nähert man dann den abgestoßenen Kügelchen eine geriebene Siegellackstange, so wird man finden, daß die Kügelchen mit entgegengesetzten Elektricitäten geladen sind; und zwar wird das obere Kügelchen die gleichartige Elektricität mit der Kugel besitzen, während das untere die ungleichartige hat. — Berührt man den Metallstab leitend mit dem Finger, so wird das obere Kügelchen sich an den Metallstab anlegen, das untere aber noch mehr davon sich entfernen. Dasselbe wird sich ereignen, an welcher Stelle man auch den Metallstab berühren mag, so lange die

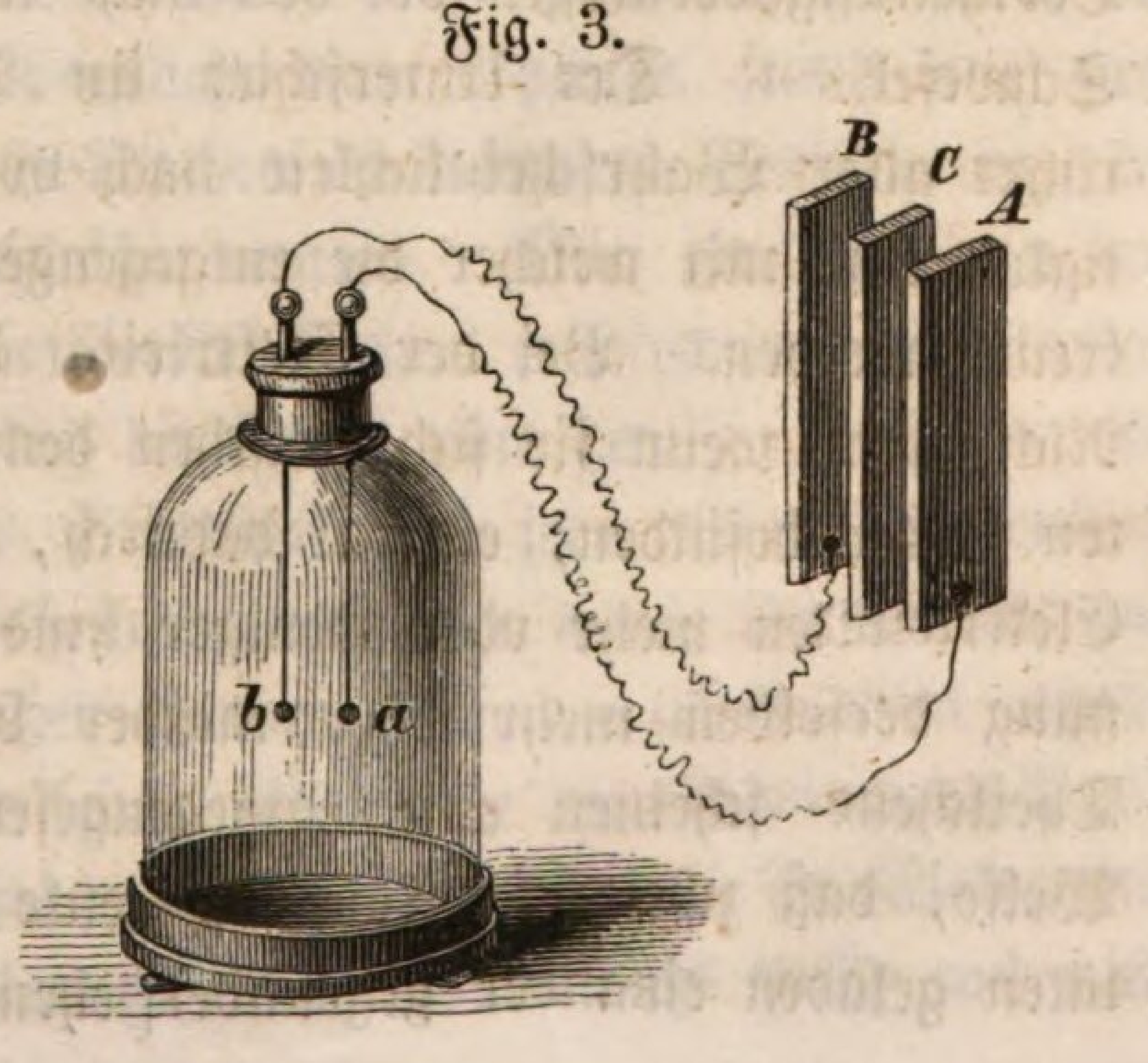
Fig. 2.




vertheilende Wirkung der Kugel k fortdauert. — Die Vertheilung der Elektricität ist bei dem in Rede stehenden Versuche durch Glas vor sich gegangen, während sie bei dem früheren Versuche durch Luft stattgefunden hat.

Eine solche Elektrisirung durch Vertheilung erfolgt ebenfalls durch Schwefel, Schellack, wie durch sämmtliche Nichtleiter. Nach Faraday's Untersuchungen zeigen jedoch dergleichen Stoffe in dieser Hinsicht Spuren einer verschiedenen Wirkung; weßhalb er jenen Körpern ein specifisches Vertheilungsvermögen zuschreibt. Das Verfahren, durch welches Faraday ein derartiges specifisches Vertheilungsvermögen bei den Nichtleitern nachgewiesen hat, ist folgendes. Man lade die isolirte feststehende Metallplatte C (Fig. 3) mit einer bestimmten Elektricität, z. B. positiver, während die ähnlichen zur rechten und linken Seite dieser Platte auf isolirenden Füßen ruhenden Metall-

Fig. 3.



platten A und B einen Augenblick lang mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt werden. Von den beiden mit einer Glasglocke umgebenen von einander isolirten Goldblättchen communicirt das eine a durch einen Leitungsdraht mit der Platte A, das andere b durch einen ähnlichen Draht mit der Platte B. Wenn A und B in gleicher Entfernung von C stehen, zeigen die Goldblättchen keine Spur von freier Elektricität, während die nach C zugewendeten Seiten der Platten gleiche Ladungen von negativer aber gebundener Elektricität besitzen. Bewegt man hierauf die Platte A nach C, so convergiren die Goldblättchen, zum Beweise daß sie entgegengesetzt elektrisch sind. Die vertheilende Wirkung der Platte C auf die näherstehende Platte A ist nämlich stärker als auf die entferntere B. Es wird darum einerseits eine neue Menge von negativer Elektricität auf A durch C gebunden, wobei positive Elektricität frei wird und nach a strömt; während anderseits ein Theil der in B ursprünglich erregten und von C zurückgehaltenen negativen Elektricität freigelassen wird und nach b fließt. Bringt man nun, während A und B in gleichem Abstande von der mit positiver Elektricität geladenen Platte C stehen, zwischen diese letztere und die Platte A eine Schellackscheibe, so wird man finden, daß die Goldblättchen zu convergiren beginnen, wie in dem vorhin angegebenen Falle. Die Blättchen fallen in die verticale Lage zurück, wenn man die Schellackscheibe entfernt. Die Einschaltung der Schellackscheibe bringt also dieselbe Wirkung hervor, wie die Annäherung der Platte A an die Platte C; woraus hervorgeht, daß bei gleicher Entfernung die Vertheilung durch Schellack besser vor sich geht als durch Luft.

Einige Hauptresultate aus den über das specifische Vertheilungsvermögen von Faraday angestellten schönen Untersuchungen sind folgende. Alle Gase haben einerlei specifisches Vertheilungsvermögen. — Die nicht leitenden Flüssigkeiten, wie Terpentinöl und Steinöl, besitzen ein größeres specifisches Vertheilungsvermögen als die Gase. — Noch größer ist dieses Vertheilungsvermögen bei den nicht leitenden festen Stoffen, wie Schellack, Schwefel. — Der Unterschied im Vertheilungsvermögen der Nichtleiter rührt aller Wahrscheinlichkeit nach von der größern oder geringern Leichtigkeit her, mit welcher die entgegengesetzten Elektricitäten von einander getrennt werden. Bei der Elektricität durch Vertheilung wirken mithin die Nichtleiter, wenn sie sich zwischen dem elektrisirten Körper und dem isolirten Leiter befinden, einmal dadurch, daß sie die Vereinigung der beiden Elektricitäten mehr oder weniger hindern; dann dadurch, daß sie die Trennung derselben mehr oder minder befördern. Die beiden Hälften jedes Theilchens scheinen eine entgegengesetzte Elektricität anzunehmen in der Weise, daß zwei successive Molecüle mit zwei ungleichnamigen Elektricitäten geladen einander gegenüberstehen. So lange die elektrische Spannung

nicht gewisse Grenzen überschreitet, welche mit dem Isolationsvermögen der Substanz sich ändert, werden die Theilchen ihre entgegengesetzte Elektricitäten beibehalten; woraus folgt, daß der elektrische Zustand aller Theilchen des Nichtleiters fortdauert, so lange der elektrisirte Körper seinen Einfluß geltend macht.

Ein durch Vertheilung elektrisirter Cylinder kann in ähnlicher Weise auf einen andern isolirten Leiter wirken. Man stelle zwei isolirte Metallcylinder A und B, deren beide Enden mit Hollundermarkkügelchen versehen sind, hinter einander auf und nähere dem Cylinder A eine isolirte mit positiver Elektricität geladene Kugel C. Beide Cylinder zeigen Spuren von Elektricität in der Weise, daß die der Kugel nächst liegenden Theile der Cylinder negativ, deren entferntesten Theile positiv elektrisch sind. Entfernt man die Kugel C, so kehren beide Cylinder in den natürlichen Zustand zurück.

Man bringe zwischen eine isolirte mit positiver Elektricität geladene Kugel A und eine isolirte unelektrische Kugel B eine ebenfalls isolirte Metallplatte C. Durch Vertheilung wird die nach A gekehrte Seite der Platte negativ, die andere positiv elektrisch. Die letztere Elektricität wirkt ihrerseits vertheilend auf die Kugel B, so daß der der Platte nächster Theil ihrer Oberfläche mit negativer, der entferntere Theil mit positiver Elektricität geladen ist. — Wird die Platte C mit dem Erdboden in leitende Verbindung gebracht, so behält die der Kugel A zugekehrte Seite ihre Elektricität bei; dagegen verliert die andere Seite der Platte wie die Kugel B ihre Elektricität. Die Vertheilung pflanzt sich also nicht durch Leiter fort, welche mit dem Erdboden in Verbindung stehen.

Um die volle Wirkung eines vertheilenden Körpers nach allen Richtungen zu erfahren, ließ Faraday in das Innere eines isolirten cylindrischen Gefäßes von Zinn eine elektrisirte an einem langen Seidenfaden hängende Kugel hinabgelangen, deren Oberfläche im Verhältniß zu jener des Gefäßes klein ist. Die äußere Oberfläche des Letzteren stand mit zwei schmalen einander berührenden Goldblättchen in leitender Verbindung, die in einem Gefäße von Glas eingeschlossen waren. Wie die Kugel in das Gefäß gesenkt ward, divergirten die Goldblättchen und zwar desto stärker, je weiter die Einsenkung erfolgte, bis die Kugel eine gewisse Tiefe erreicht hatte, wo dann die Divergenz der Blättchen für jede tiefere Einsenkung durchaus die gleiche blieb. Die Gesammtmenge der durch Vertheilung auf der äußeren Oberfläche des Gefäßes hervorgerufenen Elektricität mußte daher ebenfalls die gleiche geblieben sein. Berührte die Kugel einen Punkt der inneren Oberfläche des Gefäßes, so wurde derselben die Elektricität der Kugel mitgetheilt. Die Goldblättchen divergirten nicht mehr und nicht

weniger als vorher, wo noch Elektrisirung durch Vertheilung stattgefunden hat. Die durch Vertheilung auf der äußeren Oberfläche des Gefäßes angehäufte Elektricität war demnach von gleichem Betrage mit jener, welche sich im freien Zustande auf der vertheilenden Kugel befand.

Man stelle nun den Versuch mit mehreren in einander gesetzten Metallgefäßen an, die seitlich durch Luftschichten und an ihrem Boden durch Schellack isolirt sind. Wenn die Ladung der Kugel die nämliche ist wie die im vorhergehenden Versuche, ist die Divergenz der Goldblättchen ebenfalls genau dieselbe. Die elektrische Kugel wirkt mithin durch die inneren Gefäße auf das äußere gerade so, als wenn letzteres allein vorhanden gewesen wäre. — Die Divergenz der Goldblättchen erleidet keine Veränderung, wenn man zwei oder mehrere Gefäße durch einen guten Leiter mit einander verbindet; woraus folgt, daß dadurch der Elektricitätszustand des äußeren Gefäßes nicht geändert wird. — Berührt in dem einen oder dem anderen dieser Fälle die Kugel das innere Gefäß, so wird die Divergenz der Goldblättchen stets dieselbe bleiben. — Wir können also sagen, daß die Menge der auf der Oberfläche des äußeren Gefäßes durch Vertheilung hervorgerufenen Elektricität in allen Fällen der Menge der Elektricität gleichkommt, mit welcher die vertheilende Kugel geladen ist.

Mit Hülfe des über die Vertheilung der Elektricität Gesagten können wir uns nun Rechenschaft ablegen über die Erscheinungen der Anziehung und Abstoßung, welche leichte Körperchen erfahren, wenn sie in die Nähe von elektrisirten Körpern gelangen. — Wir betrachten zuerst den Fall, in welchem das bewegliche Körperchen ein schlechter Leiter der Elektricität ist. Das Körperchen wird von dem elektrischen Körper angezogen oder abgestoßen, je nachdem es mit demselben die entgegengesetzte oder die nämliche Elektricität besitzt. Ist das Körperchen unelektrisch, so findet eine schwache Vertheilung an den dem elektrischen Körper zunächst gelegenen Theilen statt, welche eine Anziehung zur Folge hat. Mit der Zeit erlangt das Körperchen durch Berührung die nämliche Elektricität wie der elektrische Körper, worauf dann die Abstoßung erfolgt.

Wir gehen zu dem zweiten Fall über, in welchem das bewegliche Körperchen ein Leiter und mit einer der des elektrisirten Körpers entgegengesetzten Elektricität geladen ist. Bei der Annäherung des elektrisirten Körpers an das mit entgegengesetzter Elektricität geladene Körperchen entwickelt sich durch Vertheilung auf der dem Körper zugekehrten Seite noch eine neue Menge der letztgenannten Elektricität und vermehrt die hier schon vorhandene gleichnamige Elektricität, während eine gleich große Menge freigewordener ungleichnamiger Elektricität auf die von dem Körper abgewendete Seite tritt. Da die elektrische Ladung des Körperchens auf der

nach dem elektrisirten Körper gelegenen Seite größer ist als auf der anderen, so wird durch die Kraft der Anziehung der zwei entgegengesetzten Elektricitäten das Körperchen nach dieser Seite mit fortgezogen. Nach der Berührung neutralisiren die zwei entgegengesetzten theilweise einander und das Körperchen wird mit einer gewissen Menge Elektricität geladen, welche jener des elektrisirten Körpers gleichartig ist, was die Abstoßung nach sich zieht.

Wir nehmen den dritten Fall, in welchem das bewegliche Körperchen ein Leiter und mit der des elektrisirten Körpers gleichartigen Elektricität geladen ist. Es erfolgt eine Abstoßung; es kann aber auch eine Anziehung eintreten, wenn man beide Körper hinlänglich nahe aneinander bringt. Durch die von dem elektrisirten Körper ausgehende Vertheilung wird nämlich die ungleichnamige Elektricität des Körperchens gebunden und die freie gleichnamige auf die von dem Körper abgewendete Seite getrieben. Letztere Elektricität ist zwar in größerer Menge vorhanden als die andere, dafür ist sie aber auch wieder von dem vertheilenden Körper weiter entfernt. Auf solche Weise kann es sich ereignen, daß in einer gewissen Entfernung die Abstoßung zwischen den ursprünglichen gleichnamigen Elektricitäten und die Anziehung zwischen der Elektricität des Körpers und der gebundenen entgegengesetzten des Körperchens einander das Gleichgewicht halten: das Körperchen wird dann weder angezogen noch abgestoßen. In größerer Nähe wird aber die Anziehung die Abstoßung überwiegen, worauf dann das Körperchen von dem elektrisirten Körper angezogen werden muß.

Wir schließen mit dem vierten Fall, in welchem das bewegliche Körperchen ein Leiter und unelektrisch ist. Durch Vertheilung erhalten die dem elektrisirten Körper entfernteren Theile des Körperchens die nämliche Elektricität wie der Körper, die näheren Theile aber die entgegengesetzte Elektricität. Die Anziehung zwischen den einander näher liegenden entgegengesetzten Elektricitäten überwiegt die Abstoßung zwischen den weiter von einander abstehenden gleichartigen Elektricitäten, weßhalb das Körperchen sich nach dem elektrisirten Körper mit einer Kraft hinbewegt, welche dem Unterschiede zwischen der Stärke der erwähnten Anziehung und Abstoßung gleichkommt.

## 3. Theoretische Hypothesen.

Es sind verschiedene Hypothesen zur Erklärung der elektrischen Erscheinungen aufgestellt worden. Nach der von Franklin zuerst ausgesprochenen Hypothese gibt es eine unendlich feine elektrische Materie, deren Theilchen auf einander abstoßend und auf die wägbare Materie anziehend wirken. Jeder Körper enthält eine gewisse Menge solcher elektrischer Flüssigkeit, welche von seiner Masse und Natur abhängig ist. Wird durch

irgend welche Ursache diese in einem Körper enthaltene seinen unelektrischen Zustand bedingende Elektricitätsmenge geändert, so ist der Körper elektrisch. Er ist positiv oder negativ elektrisch, je nachdem er eine größere oder geringere Menge Elektricität enthält, als er in seinem neutralen Zustande haben muß. Manche elektrische Erscheinungen lassen sich nach dieser Hypothese einfach erklären; doch vermag sie über die Attraction und Repulsion zwischen elektrisirten Körpern keinen befriedigenden Aufschluß zu ertheilen.

Nach der von Symmer erdachten Hypothese gibt es überall in der Körperwelt zwei äußerst feine unwägbare Stoffe, die sogenannte positive und die negative elektrische Materie. Jede dieser beiden Flüssigkeiten besteht aus Theilchen, die sich gegenseitig abstoßen, indeß die Theilchen der einen auf jene der andern anziehend wirken. — Sind beide Materien in einem Körper gleichförmig mit einander gemengt, so erscheint der Körper im unelektrischen Zustande. Enthält aber der Körper an irgend einer Stelle eine größere Menge der einen als der andern elektrischen Materie, so ist er daselbst elektrisch und zwar positiv oder negativ, je nachdem die positive oder die negative Materie im Ueberschusse vorhanden ist. — Die Anziehung und Abstoßung elektrisirter Körper ist eine unmittelbare Folge der angenommenen Eigenschaften der elektrischen Materien. Auch die Erscheinungen der elektrischen Vertheilung lassen sich nach dieser Hypothese leicht erklären, indem die überwiegende Action der in einem Körper angesammelten positiven oder negativen Elektricität in einem andern Körper die Theilchen der gleichnamigen Elektricität abstößt und die Theilchen der entgegengesetzten anzieht. — In guten Leitern bewegen sich die elektrischen Flüssigkeiten frei, dagegen die Nichtleiter keine Verbreitung derselben gestatten. Je mehr sich die freie Elektricität auf der Oberfläche eines Körpers anhäuft und so an Dichte zunimmt, einen desto größeren Druck übt sie auf die nicht leitende Umgebung aus: dieser von der Dichte abhängige Druck ist die elektrische Spannung.

Die Symmer'sche Hypothese schließt sich gut an die Erscheinungen an und kann als bequemes Mittel zur Erleichterung der Ausdrucksweise dienen. Das einzige Hypothetische ist, daß man sich die zwei Elektricitäten als imponderable Flüssigkeiten vorstellt. Alles Uebrige sind aber wohlbegründete Thatsachen, nämlich daß es zwei Elektricitäten gibt; daß gleichartige Elektricitäten einander abstoßen, verschiedenartige einander anziehen; daß ungleichnamige Elektricitäten sich wie entgegengesetzte Größen verhalten; daß jeder elektrisirte Körper um sich eine Wirkungssphäre bildet, innerhalb welcher er eine merkliche Vertheilung hervorzubringen vermag. — Läßt man die Ausdrücke positive und negative Flüssigkeit blos als Mittel zur Bezeichnung der Erscheinungen gelten, wie sie sich in den Thatsachen zu er-

kennen geben, ohne zu entscheiden, ob sie in einer oder zwei Materien oder in einer anderen Ursache ihren Grund haben; so dürfte in der Symmer'schen Vorstellungsart nichts Hypothetisches mehr enthalten sein.

Aller Wahrscheinlichkeit nach ist die Elektricität nichts anders als eine Zustandsänderung der Körper, etwa eine oscillatorische Bewegung ihrer kleinsten Theilchen, welche in dem allverbreiteten und Alles durchdringenden Medium, dem sogenannten Aether, vor sich geht. Dergleichen Molecularbewegungen vermag der Aether weiter zu tragen, welcher dann an jenen Bewegungen einen entsprechenden Antheil nimmt. Die Uebertragung kann auch durch einen Zwischenkörper geschehen, der ebenfalls den Bewegungszustand mehr oder weniger zu modificiren vermag. Stoffe, welche die Fähigkeit haben, die elektrischen Schwingungen fortzupflanzen, sind gute Leiter; dagegen diejenigen Stoffe, welche die Schwingungen gewissermaßen aufhalten, zu den schlechten Leitern gehören. — Entgegengesetzte Elektricitäten kämen hiernach vielleicht auf entgegengesetzte Schwingungen zurück, bei denen die in oscillatorischer Bewegung begriffenen Theilchen diesseits oder jenseits der Gleichgewichtslage sich befänden. — Die Amplitude der Schwingungen bestimmte die sogenannten Intensitätserscheinungen, während von der Schwingungszahl die Quantitätserscheinungen abhingen. — In der Folge werden wir übrigens mancherlei Thatsachen kennen lernen, welche mit der auf Molecularbewegung gestützten Ansicht gut übereinstimmen. Auch deutet schon die Elektricitätsentwickelung durch Reibung wie die Elektricitätserregung durch Trennung darauf hin, daß der innere Grund der Elektricität in einer Molecularbewegung zu suchen sei.

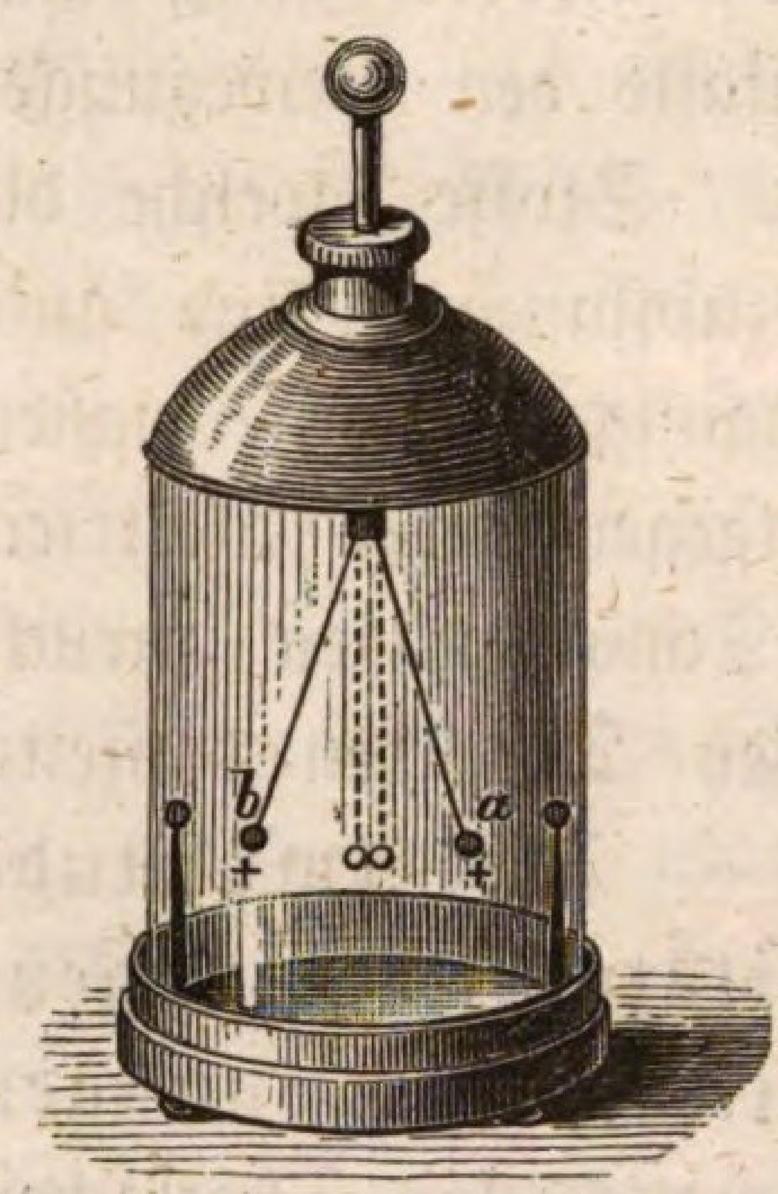
## 4. Von den Elektroskopen und der elektrischen Drehwage.

Elektroskope heißen die Instrumente, um die Gegenwart der Elektricität anzuzeigen und die Natur der freien Elektricität zu bestimmen. — Das einfachste Instrument dieser Art ist das elektrische Pendel. — Es besteht aus einem Hollundermarkkügelchen, das an einem recht trockenen Seidenfaden aufgehängt ist, der an einem isolirenden Träger befestigt wird. — Nähert man das Kügelchen im neutralen Zustande dem zu prüfenden Körper, so wird das Pendel angezogen oder verharrt in seiner Ruhelage, je nachdem der Körper elektrisch oder unelektrisch ist. — Will man die Art der Elektricität des Körpers ermitteln, so muß man das Kügelchen vorerst mit einer bekannten Elektricität laden: je nachdem dann das Pendelchen abgestoßen oder angezogen wird, ist die Elektricität des Körpers mit jener des Pendelchens gleichnamig oder ungleichnamig.

Das Quadrantenelektroskop ist ein in Grade eingetheilter Kreisbogen von beliebiger Materie (am besten Glas), der mit seinem Durchmesser an einem Cylinder von Holz oder Metall dergestalt befestigt ist,

daß sein Mittelpunkt ein wenig von dem Cylinder absteht. Im Mittelpunkt ist ein feines Stäbchen befestigt, das an seinem freien Ende ein Hollundermarkkügelchen trägt. Setzt man das Instrument auf einen elektrisirten Körper, so nimmt es die Elektricität desselben an. Das Pendel wird von dem Cylinder abgestoßen, weil alle Theile des Instrumentes mit gleichnamiger Elektricität geladen sind, und steigt an dem getheilten Kreise desto höher, je stärker die Elektricität des zu untersuchenden Körpers ist.

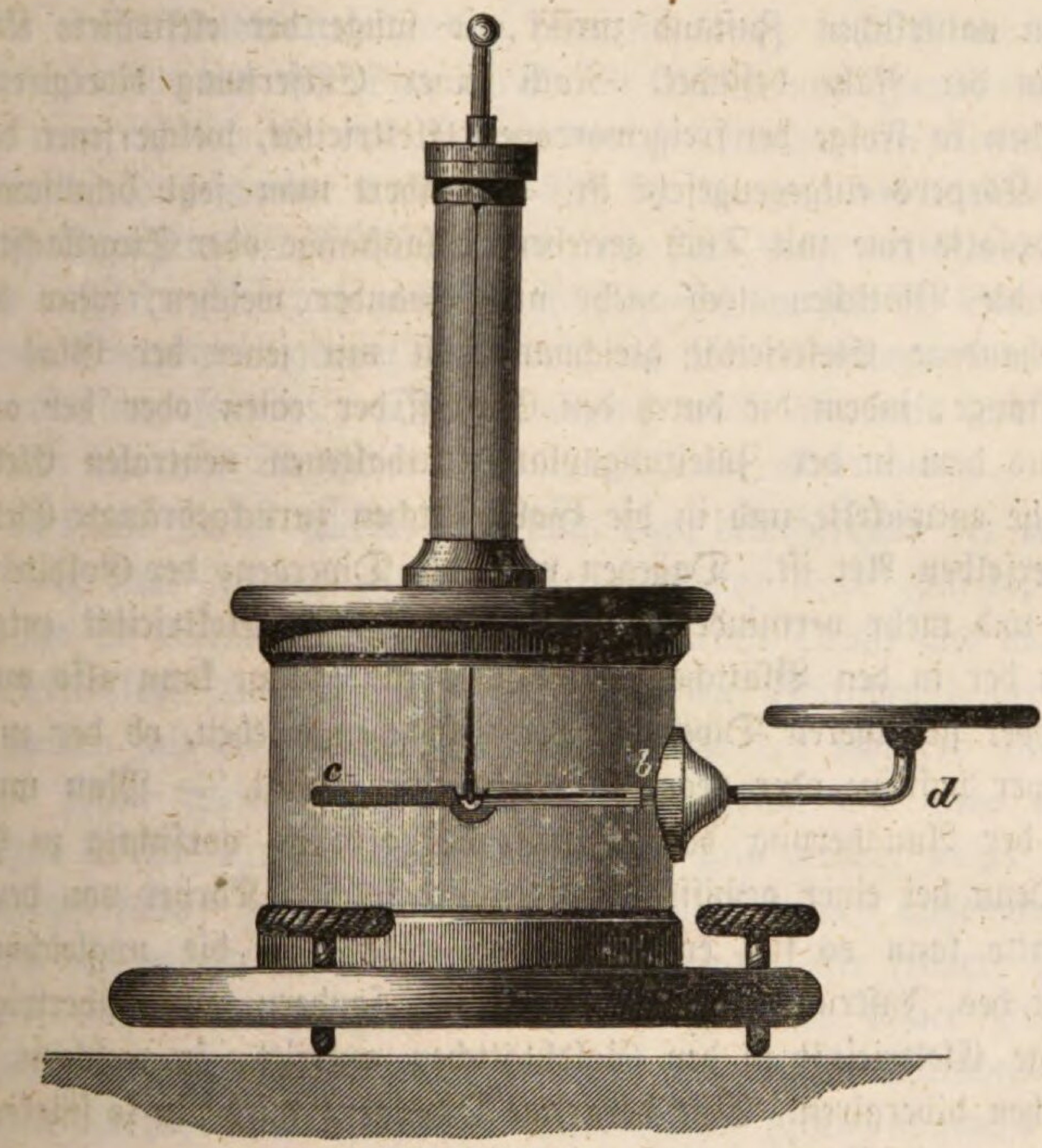
Fig. 4.



Das Goldblattelektroskop (Fig. 4) besteht aus zwei gleichlangen, schmalen Goldblättchen a und b, welche an dem unteren Ende eines glatten Messingsstäbchens so aufgehängt sind, daß sie im unelektrischen Zustande mit ihren Flächen einander berühren. Um gegen Luftzug und andere Einflüsse geschützt zu sein, befinden sich die Blättchen in einem allseitig geschlossenen Glasgefäße C, in dessen Hals das wohlisolirte Messingstäbchen festsitzt. Das Stäbchen endigt oben in eine polirte messingene Kugel oder in eine polirte an den Rändern abgerundete Messingplatte, welche die Zuleitungsplatte genannt wird. — Der Boden des Glasgefäßes hat mehrere kleine Oeffnungen und eine dicht anschließende Schieblade, in welcher einige Stücke Chlorcalcium liegen, um die Luft möglichst trocken zu erhalten. — Die Empfindlichkeit des Instrumentes wird gesteigert durch die beiden auf dem metallischen Boden befestigten kurzen metallenen Säulen c und d, deren jede an ihrem oberen Ende eine kleine Kugel trägt. Die in den Goldblättchen befindliche Elektricität ruft nämlich durch vertheilende Einwirkung die entgegengesetzte Elektricität in den kleinen Kugeln hervor, welche dadurch anziehend auf die Blättchen wirken und damit deren Divergenz vergrößern. — Werden statt der Goldblättchen zwei dünne Strohhalme angewendet, welche so aufgehängt sind, daß sie sich leicht um ihre obere Enden drehen können; so hat man ein Strohhalmelektroskop.

Ein recht empfindliches Elektroskop ist das in Fig. 5 dargestellte. An einem Coconfaden hängt mit Schellack daran befestigt ein feiner gerader Wagebalken von Metall. Derselbe senkt sich mit seiner Mitte in den Ausschnitt eines aus Messingblech verfertigten Streifchens ab, an welches sich der Länge nach der metallische Wagebalken anlegen kann. Der obere Theil der Vorrichtung wird der Art gedreht, daß der Wagebalken durch die Torsion des Fadens an den Streifen ab leise angedrückt wird. — Das Streifchen wird von dem Messingdraht bd getragen, welcher isolirt durch eine in die Seitenwand des Gefäßes gebohrte Oeffnung geht und durch eine aufgekittete Fassung von Holz gehalten wird. — Theilt man der Zulei-

Fig. 5.




tungsplatte des Drahtes b d eine geringe Menge Elektricität mit, so fließt ein Theil derselben auf den Wagebalken über, der dann vom Streifchen ab abgestoßen wird und in seiner Gleichgewichtslage einen desto größeren Winkel mit dem Streifen bildet, je stärker die Ladung ist.

Der Gebrauch des Goldblattelektroskops beruht bei geringer elektrischer Spannung auf der Mittheilung der Elektricität. Durch Berührung der Zuleitungsplatte mit einem schwach elektrischen Körper erhalten die Goldblättchen Elektricität, worauf sie einander abstoßen und einen Winkel bilden, welcher desto größer wird, je stärker die den Blättchen mitgetheilte elektrische Spannung ist. — Mittelst eines an dem Behälter angebrachten getheilten Kreisbogens kann jener Winkel gemessen werden. — Einen stark elektrischen Körper braucht man nur in die Nähe der Zuleitungsplatte zu bringen, um schon die Goldblättchen divergiren zu sehen. Durch Vertheilung wird nämlich die ungleichnamige Elektricität der Zuleitungsplatte angezogen, die gleichnamige Elektricität zurückgedrängt, welche so die Blättchen aus einander treibt. Nach Entfernung des elektrischen Körpers vereinigen sich die getrennten Elektricitäten wieder und die Goldblättchen fallen zusammen. —

Hat man aber, während der elektrisirte Körper noch durch Vertheilung wirkte, die Zuleitungsplatte mit dem Finger berührt; so kehren die Blättchen in den natürlichen Zustand zurück, so lange der elektrisirte Körper sich noch in der Nähe befindet. Nach seiner Entfernung divergiren die Goldblättchen in Folge der freigewordenen Elektricität, welche jener des zu prüfenden Körpers entgegengesetzt ist. — Nähert man jetzt behutsam der Zuleitungsplatte eine mit Tuch geriebene Glasstange oder Siegellackstange, so werden die Blättchen noch mehr aus einander weichen, wenn die in ihnen vorhandene Elektricität gleichnamig ist mit jener der Glas- oder Siegellackstange, indem die durch den Einfluß der einen oder der andern Stange aus dem in der Zuleitungsplatte enthaltenen neutralen Elektricitätsvorrathe entwickelte und in die Goldblättchen zurückgedrängte Elektricität von derselben Art ist. Dagegen wird die Divergenz der Goldlbättchen sich mehr und mehr vermindern, wenn diese erregte Elektricität entgegengesetzt von der in den Blättchen befindlichen ist. Man kann also aus der stärkeren oder geringeren Divergenz der Blättchen ersehen, ob der zu prüfende Körper positive oder negative Elektricität besitzt. — Man muß jedoch mit der Annäherung der zu prüfenden Körper vorsichtig zu Werke gehen. Denn bei einer gewissen Entfernung solcher Körper von der Zuleitungsplatte kann es sich ereignen, daß nicht blos die ungleichnamige Elektricität des Instrumentes neutralisirt ist, sondern selbst überwiegende gleichnamige Elektricität in den Goldblättchen auftritt, in welchem Falle die Blättchen divergiren. Eine derartige Divergenz wird um so stärker sein, je weiter man die Annäherung getrieben hat.

Man kann auch die Goldblättchen vorläufig mit einer bestimmten Elektricität laden und dann den zu prüfenden Körper der Zuleitungsplatte nähern. Will man z. B. den Blättchen die positive Elektricität geben, so nähere man dem Instrumente eine mit Tuch geriebene Siegellackstange, bis die Blättchen in Folge der freigewordenen negativen Elelektricität die gehörige Divergenz zeigen; alsdann berühre man die Zuleitungsplatte mit dem Finger, was den natürlichen Zustand der Blättchen herbeiführt; entferne hierauf den Finger, ohne die Stellung der Siegellackstange zu ändern; endlich ziehe man auch diese Stange zurück. Die Goldblättchen gehen nunmehr mit der positiven Elektricität aus einander, welche früher durch die negative Elektricität der Siegellackstange gebunden wurde. — Auf die nämliche Weise kann man den Goldblättchen die negative Elektricität beibringen, wenn man jene Operation mittelst einer Glasstange vornimmt. — Ist nun der zu prüfende Körper mit der nämlichen Elektricität geladen wie das Elektroskop, so werden die Blättchen stärker divergiren wie zuvor, wenn man den Körper dem Instrumente nähert. Dagegen wird die Divergenz der Goldblättchen sich vermindern, wenn der genäherte Körper die

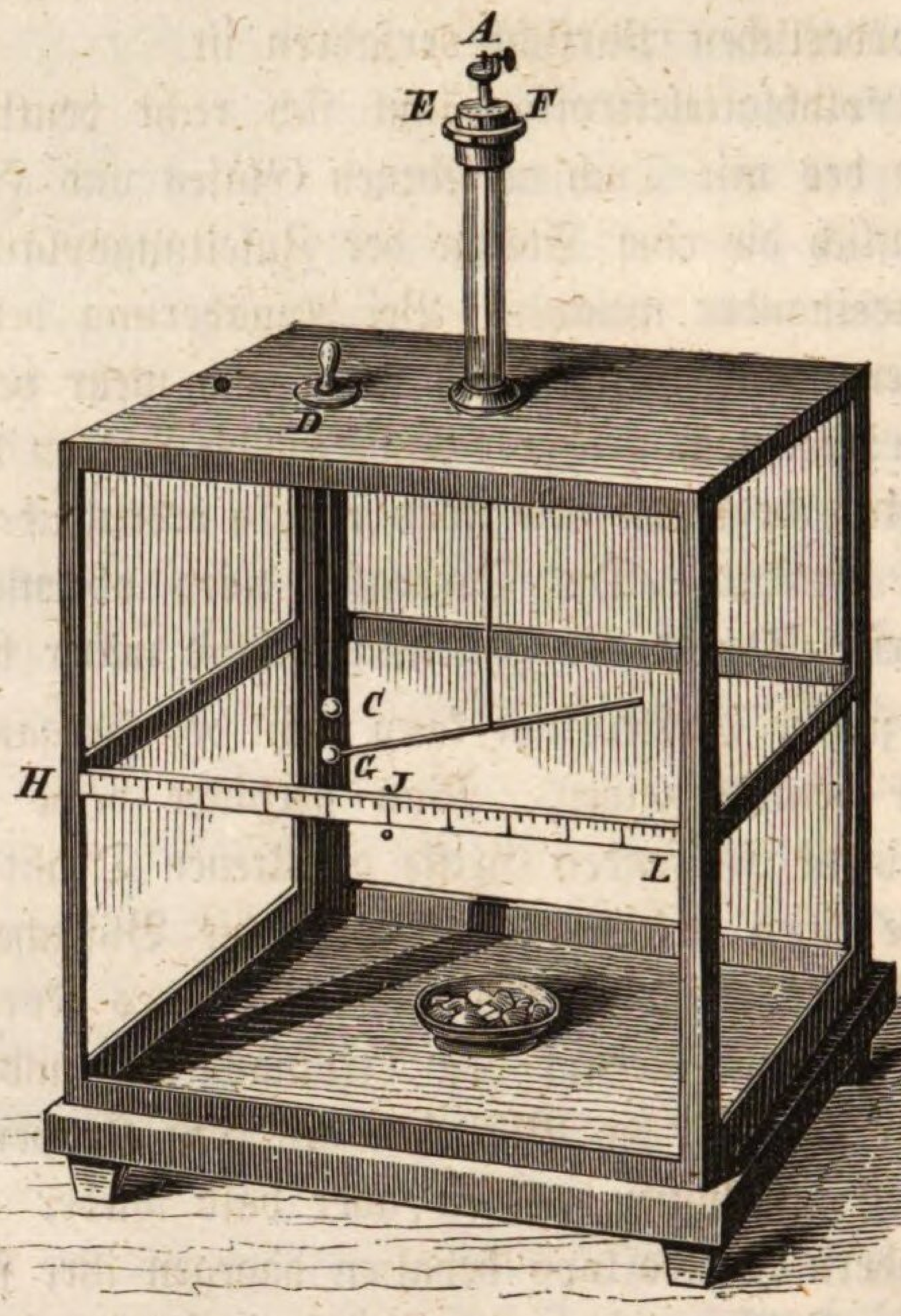
entgegengesetzte Elektricität von der des Elektroskops besitzt, vorausgesetzt, daß mit der erforderlichen Vorsicht verfahren ist.

An einem Goldblattelektroskop läßt sich recht deutlich der Gegensatz der Elektricitäten des mit Tuch geriebenen Glases und Harzes nachweisen. Nähert man nämlich die eine Stange der Zuleitungsplatte, so werden die Goldblättchen auseinander weichen. Bei Annäherung der andern Stange wird die Divergenz der Blättchen sich mehr und mehr vermindern, endlich gänzlich aufhören; bei noch größerer Annäherung werden die Blättchen von Neuem zu divergiren beginnen und zwar um so bedeutender, je weiter man die Annäherung fortsetzt. Die Divergenz wird abermals verschwinden, wenn man die erste Stange der Zuleitungsplatte näher bringt.

Mit Hülfe zweier Elektroskope kann man den Hergang der elektrischen Vertheilung recht deutlich zeigen. Man verbinde beide Zuleitungsplatten durch einen an einem isolirenden Griffe gehaltenen Draht und nähere dem einen Elektroskope einen elektrisirten Körper: die Blättchen beider Instrumente werden mit der gleichnamigen Elektricität des Körpers auseinander weichen. Man entferne hierauf den Leitungsdraht und ziehe dann den elektrischen Körper zurück: die Blättchen des dem Körper näher stehenden Elektroskops fallen zusammen, gehen aber bald wieder auseinander; die Blättchen des andern Elektroskops behalten dagegen ihre frühere Divergenz bei. Bei näherer Prüfung der elektrischen Zustände beider Elektroskope findet man, daß sie einander entgegengesetzt sind. Die Blättchen des dem elektrischen Körper näher stehenden Elektroskops gehen nunmehr mit der Elektricität auseinander, welche früher durch die ungleichnamige des Körpers festgehalten wurde.

Die oben genannten Elektroskope sind mehr zu qualitativen Anzeigen als zu quantitativen Bestimmungen geeignet. Dagegen ist die Coulomb'sche Drehwage ein wirkliches Elektrometer, indem es gestattet elektrische Spannungen miteinander zu vergleichen. — Die Coulomb'sche Drehwage (Fig. 6) besteht aus einem in der Mitte an einem feinen Metalldrahte horizontal aufgehängten Stäbchen aus Schellack, welches an einem Ende ein kleines vergoldetes Kügelchen von Hollundermark G und am andern Ende eine äquilibirende Masse trägt. Der Faden läuft längs der Achse eines röhrenförmigen Aufsatzes eines cubischen oder cylinderförmigen Glaskastens herab und ist mit seinem oberen Ende in der Mitte A einer horizontalen mit einer Kreistheilung versehenen Scheibe EF befestiget, durch deren Drehung auch der Faden um seine Längenrichtung gedreht wird. Außerdem befindet sich noch in der Höhe des freischwebenden Stäbchens von Schellack eine horizontale Scale HKL, welche in Grade eingetheilt ist. Der Nullpunkt der Scheibe EF liegt mit dem Nullpunkte J

Fig. 6.




der horizontalen Scale H L auf den Seitenwänden des Kastens in einer Verticalebene. Durch die Oeffnung D des Deckels kann ein gefirnißtes Glasstäbchen gesteckt werden, das an seinem untern Ende eine kleine Metallkugel C trägt. — Damit die Luft möglichst trocken bleibe, steht auf dem Boden ein Schälchen mit Stücken von Chlorcalcium.

Um mit der Drehwage die Größe der elektrischen Abstoßung zu messen, theilt man der Kugel C und dadurch der sie berührenden Kugel G des Schellackstäbchens Elektricität mit. Letztere Kugel wird so weit zurückgestoßen, bis die abstoßende Kraft der Elektricität der Torsion des Fadens das Gleichgewicht hält. Die Torsionskraft, welche dem Torsionswinkel proportional ist, kann mithin als Maß der fraglichen Repulsionskraft dienen. Es läßt sich auch bei verschiedenen Versuchen durch Drehung der oberen Scheibe E F die Abweichung des Stäbchens auf einerlei Größe zurückführen. Das Bestreben des Stäbchens seine ursprüngliche Lage anzunehmen, ist dann dem Winkel proportional, um welchen der Faden oben durch die Scheibe gedreht wurde, vermehrt um den Ablenkungswinkel des Stäbchens.

Will man mittelst der Drehwage die Größe der elektrischen Anziehung bestimmen, so muß man die bewegliche Kugel G zuerst auf einen gewissen

Punkt der Scale HL stellen; alsdann den Kugeln G und C entgegengesetzte Elektricitäten mittheilen. Da die beiden Kugeln sich anziehen, so bewegt sich die Kugel G nach der festen Kugel C hin und bleibt, insofern das Gleichgewicht möglich ist, an einem gewissen Punkt stehen. Aus Vergleichung der Drehungen und der Abstände läßt sich dann die Drehungskraft ermitteln, welche der elektrischen Anziehung das Gleichgewicht hält. Bei dergleichen Versuchen muß man Sorge tragen, daß die bewegliche Kugel G nicht bis zur Berührung mit der Kugel C fortgezogen wird. Man bringt deßhalb einen vertical gespannten feinen Seidenfaden an, welcher das Stäbchen bei seiner Annäherung gegen die feste Kugel aufhält. Wenn nun in Folge der elektrischen Anziehung das Stäbchen bis an jenen Seidenfaden geführt werden sollte, braucht man blos die Drehung der oberen Scheibe EF zu vermehren, um die erforderliche Gleichgewichtslage zu erhalten.

## II. Gesetze der elektrischen Wirkungen.

### 1. Elektrische Abstoßung und Anziehung.

Die Abstoßung zwischen zwei unveränderlichen Quantitäten von gleichnamiger Elektricität steht im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung. Um dieses Gesetz mittelst der Drehwage nachzuweisen, bezeichnen wir mit $\alpha$ den Winkel, welchen die ursprüngliche Gleichgewichtslage des Schellackstäbchens mit seiner Stellung einschließt, in welcher die Torsion des Fadens der abstoßenden Kraft das Gleichgewicht hält. Ist p die Stärke der Abstoßungskraft der Kügelchen in der Einheitsentfernung, so wird sie in der Entfernung x durch $\frac{p}{x^2}$ ausgedrückt, wenn die abstoßende Kraft verkehrt wie die zweite Potenz der Entfernung abnimmt. Von dieser Kraft wirkt jedoch nur die Componente $= \frac{p}{x^2} \cos\frac{\alpha}{2} = \frac{p}{4\,r^2 \sin^2\frac{\alpha}{2}} \cos\frac{\alpha}{2}$ der Torsionskraft entgegen, in welchem Ausdrucke r den Radius des Kreises darstellt, den der Mittelpunkt des beweglichen Kügelchens beschreibt. Die Torsion des Fadens wird aber durch $f\varphi$ ausgedrückt, wenn $\varphi$ den Bogen darstellt, welcher dem Winkel $\alpha$ entspricht, und f einen für denselben Apparat constanten Coefficienten bezeichnet. Man erhält daher für den Fall des Gleichgewichtes die Relation:

$$\frac{p\cos\frac{\alpha}{2}}{4\,r^2\sin^2\frac{\alpha}{2}} = f\varphi, \quad \text{woraus entspringt:} \quad \frac{p}{4\,r^2 f} = \varphi\,.\,\sin\frac{\alpha}{2}\,.\,\text{tang}\,\frac{\alpha}{2}.$$

Der erste Theil der letzten Gleichung ist unveränderlich, folglich muß auch ihr zweiter Theil für jeden Werth von $\varphi$ und $\alpha$ constant blei-

ben, wenn die Abstoßungskraft dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportional ist. Zahlreiche Versuche haben nun gelehrt, daß für verschiedene Werthe von $\varphi$ und $\alpha$ das Produkt $\varphi \cdot \sin\frac{\alpha}{2} \cdot \tang\frac{\alpha}{2}$ einerlei Werth behält; woraus die Richtigkeit der oben ausgesprochenen Behauptung erhellet.

Die Anziehung zwischen zwei ungleichartigen Elektricitäten ist wie die Abstoßungskraft dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportional. Um dieses Gesetz auf dem Wege der Erfahrung zu erproben, sei c der Winkel, um welchen das Schellackstäbchen durch Drehen der oberen Scheibe der Coulomb'schen Wage von seiner primitiven Gleichgewichtslage entfernt wurde; ferner $\alpha$ der Winkel, welchen das Stäbchen mit jener Lage einschließt, wenn es in Folge der elektrischen Anziehung dem unbeweglichen Kügelchen näher rückt und irgendwo stehen bleibt. Nimmt man an, daß der Abstand dem Bogen $\alpha$ proportional ist, was hier geschehen kann, ferner daß die Anziehung im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung steht; so ergibt sich für den Fall des Gleichgewichtes die Relation: $\frac{p}{\alpha^2} = f(c - \alpha)$ oder $\frac{p}{f} = \alpha^2 (c - \alpha)$. Aus zahlreichen Versuchen hat sich herausgestellt, daß das Produkt $\alpha^2 (c - \alpha)$ für verschiedene Werthe von c und $\alpha$ constant bleibt; folglich stimmt das Gesetz der Anziehung mit jenem der Abstoßung überein.

Die Bedingung des Gleichgewichtes zwischen der elektrischen Anziehung und der Torsion verlangt, daß der Gleichung $p = f(c - \alpha)\alpha^2$ Genüge geschehe: was nur bei einem hinreichend großen Werthe von c sich erreichen läßt. Denn der größte Werth, welchen das Produkt $f(c - \alpha)\alpha^2$ für einen bestimmten Werth von c annehmen kann, ist gleich $\frac{4}{27} f c^3$. Trifft es sich nun, daß die Kraft p diesen Grenzwerth übersteigt, so wird die bewegliche Kugel bis zur Berührung angezogen. Damit das gewünschte Gleichgewicht eintreten könne, muß deßhalb dem Faden eine größere Torsion mitgetheilt werden.

Bei ungeänderter Entfernung sind die elektrischen Anziehungen und Abstoßungen den vorhandenen Elektricitätsmengen proportional. Um diese Aussage durch den Versuch zu bestätigen, lade man die beiden Kugeln C und G der Coulomb'schen Drehwage mit gleichnamiger Elektricität und merke sich die Torsion $\varphi$ des Fadens, nachdem man die durch die abstoßende Kraft fortgetriebene Kugel G auf einen bestimmten Winkelabstand $\alpha$ von der festen Kugel C zurückgeführt hat. Hierauf berühre man die Kugel C mit einer isolirten genau gleich großen Kugel, welche vorher keine Elektricität besaß. Die Elektricität der Kugel C vertheilt sich gleichförmig über beide Kugeln, so daß ihre Elektricität um die Hälfte vermindert wird.

Der Versuch lehrt nun, daß, wenn der Winkelabstand $\alpha$ unverändert bleiben soll, die Drehung des Fadens auf $\frac{\varphi}{2}$ gebracht werden muß. — Berührt man auch die Kugel G mit einer isolirt gleich großen Kugel, so sinkt ihre Elektricität ebenfalls auf die Hälfte herab. Wie der Versuch zeigt, muß jetzt die Torsion des Fadens auf $\frac{\varphi}{4}$ vermindert werden, wenn der Winkelabstand $\alpha$ der nämliche bleiben soll. — Aus diesen Beobachtungen folgt also, daß die Wirkungen zweier elektrisirten Kugeln bei ungeänderter Entfernung dem Produkte der elektrischen Ladungen beider Kugeln proportional sind.

Ist demnach m die Elektricitätsmenge eines elektrischen Punktes, m′ die eines andern, r deren Entfernung, p die gegenseitige Wirkung zweier die Einheit der Elektricität enthaltender in der Einheit der Entfernung von einander aufgestellter Punkte; so hat man für die Stärke der Anziehung oder Abstoßung jener zwei Punkte den Ausdruck: $P = p \cdot \frac{m\,m'}{r^2}$. — Sieht man das elektrische Princip als etwas Materielles an, so bedeuten m, m′ wirkliche materielle Quantitäten. Ist die Elektricität aber eine Bewegung der kleinsten Theilchen der Körper, so stellen m, m′ Bewegungsgrößen dar.

Aus der mittelst der Coulomb'schen Drehwage über die elektrische Abstoßung vorhin aufgestellten Formel:

$$p = 4\,r^2 \cdot \sin\frac{\alpha}{2} \cdot \tang\frac{\alpha}{2} \cdot f\,\varphi$$

folgt, daß die Intensität der elektrischen Wirkung in der Einheit der Entfernung dem Produkte $\sin\frac{\alpha}{2} \cdot \tang\frac{\alpha}{2} \cdot f\,\varphi$ proportional ist. — Hat man es dabei mit kleinen Ablenkungswinkeln zu thun, so kann man statt des Sinus und der Tangente den Bogen nehmen; man erhält dann die Gleichung: $p = r^2 \cdot \alpha^2 \cdot f\,\varphi$. Die Intensität der elektrischen Wirkung in der Einheit der Entfernung ist in solchem Falle proportional dem Produkte aus dem Quadrate des Ablenkungswinkels des Zeigers in die Torsion des Fadens.

Bei dieser Art von Versuchen hat sich noch das bemerkenswerthe Resultat herausgestellt, daß die Mittheilung auf einerlei Weise geschieht, aus welchem Stoffe die in Berührung gesetzten Leiter auch bestanden, wofern sie nur dieselbe Gestalt und dieselbe Oberfläche hatten. Daraus geht hervor, daß dergleichen Körper auf die Elektricität nicht durch eine von der Beschaffenheit ihrer materiellen Theilchen bedingte chemische Verwandtschaft wirken, sondern die Elektricität sich auf jenen Körpern auf mechanische Weise verbreitet.

Die oben ausgesprochenen Gesetze haben sich für Kugeln von sehr geringer Ausdehnung, die mithin als einfache Punkte zu betrachten sind, in aller Schärfe bewährt; sie wären demnach als die Fundamentalgesetze der elektrischen Abstoßung und Anziehung anzusehen. Die Frage, welche Bewandniß es mit der gegenseitigen Wirkung zweier elektrischen Körper von beliebiger Gestalt habe, liefe demnach auf ein rein mathematisches Problem hinaus, wenn die Gestalt der Körper gegeben und die Intensität der Elektricität an den verschiedenen Punkten derselben bekannt wäre. Es käme nur darauf an, die Resultanten sämmtlicher bestimmten Elementaractionen aufzufinden, was bei der Ausführung der Rechnung öfters seine Schwierigkeit haben mag. Da das Gesetz der elektrischen Actionen dem der Himmelskörper gleichlautet, so wird die gegenseitige Wirkung zwischen zwei kugelförmigen Körpern, deren Oberfläche gleichförmig mit Elektricität begabt ist, von der Art sein, als ob die Elektricität jeder derselben in dem entsprechenden Mittelpunkt vereinigt wäre. Wenn dessen ungeachtet bei Anstellung dergleichen Versuche mit Kugeln von größerer Ausdehnung zuweilen Resultate sich ergaben, welche von den Coulomb'schen abwichen, so rührte dies ohne Zweifel daher, daß die Kugeln dann in zu geringer Entfernung von einander standen und so dem Einflusse der elektrischen Vertheilung nicht entzogen waren, welche den elektrischen Zustand der einen wie der andern Kugel veränderte. Bei einer Entfernung der Kugeln, welche den Radius derselben zehnmal übertraf, vermochte keine eine merkliche Vertheilung in der andern hervorzubringen; weßhalb denn auch das Coulomb'sche Gesetz der elektrischen Actionen in solchem Falle sich bewährte.

## 2. Allmähliger Verlust der Elektricität.

Um den elektrischen Wirkungen bis ins Einzelnste nachgehen zu können, müssen wir den Verlust in Rechnung bringen, welchen die Elektricität theils durch Berührung der Luft, theils durch die Unvollkommenheit der Isolatoren erleidet. Wahrscheinlich gibt es keine ganz vollkommen isolirende Substanz: denn berührt man einen elektrisirten Leiter mit einem Ende eines isolirenden Cylinders, so findet man, daß die Elektricität sich auf den übrigen Theil seiner Oberfläche bis auf eine gewisse Weite verbreitet hat. Die isolirenden Träger, auf denen elektrisirte Leiter ruhen, müssen diesen mithin auf ähnliche Art Elektricität entziehen; und wenn sie kurz genug sind, um ihrer ganzen Länge nach elektrisch zu werden, verursachen sie einen langsamen aber ununterbrochenen Abfluß der Elektricität. Schellack und Siegellack verbreiten auf solche Weise die Elektricität am wenigsten; Glas und Seide aber schon in merklicherem Grade. Deßhalb muß man diese Substanzen mit einem Harzüberzuge versehen, wenn man sich derselben zum Isoliren bedienen will. Die Luft, selbst wenn sie ganz

trocken ist, entzieht den elektrisirten Körpern fortwährend eine Menge Elektricität. Die einen solchen Körper umhüllende Luftschichte elektrisirt sich durch Berührung, worauf sie abgestoßen wird und einer neuen Luftschichte Platz macht, welche sich in gleicher Weise ladet und dann ebenfalls abgestoßen wird. Dieser immer wiederholte Zutritt neuer Luftschichten bewirkt eine successive Schwächung der elektrischen Ladung, die desto bedeutender ist je mehr Wasserdünste die Luft enthält. — Um die Größe des Verlustes zu berechnen, welchen elektrisch geladene Körper während einer bestimmten Zeit erleiden, kommt es also darauf an, einmal das Gesetz des Elektricitätsverlustes wegen der Berührung der Luft und dann das Gesetz des Elektricitätsverlustes durch die unvollkommen isolirenden Träger zu ermitteln. Durch verschiedene zu diesem Behufe angestellte Versuche hatte Coulomb sich überzeugt, daß eine Schellackstange von 1 Millimeter Dicke und 45 Millimeter Länge eine mäßig elektrisirte Kugel von Hollundermark, deren Durchmesser 14 Millimeter beträgt, vollkommen isolire. Denn ihr Elektricitätsverlust blieb unverändert, mochte sie von einem oder mehreren solcher Stängelchen getragen werden; er konnte folglich nur von der Berührung des elektrisirten Körpers mit der Luft herrühren.

Gestützt auf diese Thatsache löthete Coulomb die unbewegliche Kugel seiner elektrischen Wage an das Ende eines 45 Millimeter langen Fadens von feinem Gummilack und wählte zum Hebel der Wage gleichfalls einen ganz feinen Cylinder von Gummilack, welcher die bewegliche Kugel trug. Beide Kugeln waren von Hollundermark und hatten einerlei Durchmesser. Bei einem von Coulomb angestellten Versuche, wo der Verlust blos durch die Luft erfolgte, wurde die Schellacknadel anfänglich bei einer Torsion des Fadens von $344^0$ um $20^0$ von ihrer primitiven Gleichgewichtslage abgelenkt; die abstoßende Kraft der Elektricität, welche der Torsionskraft das Gleichgewicht hielt, betrug demnach $364^0$. Nach Verlauf einer Minute mußte die Torsion um $8^0$ vermindert werden, um denselben Ablenkungswinkel zu erhalten, so daß die elektrische Abstoßung nur noch dem Winkel von $356^0$ entsprach. Die mittlere elektrische Abstoßung während dieser Minute war nun der Größe $\frac{364 + 356}{2} = 360^0$ proportional; mithin betrug der Verlust während einer Minute $\frac{8}{360} = \frac{1}{45}$ der mittleren elektrischen Kraft. Indem Coulomb die Verluste in den folgenden Zeitabschnitten in ähnlicher Weise bestimmte, fand er, daß bei gleichbleibendem Zustande der Luft die Schwächung der Elektricität in kurzer Zeit ihrer Intensität proportional erfolgt. — Bezeichnet mithin $\varphi$ die der elektrischen Abstoßungskraft das Gleichgewicht haltende Torsionskraft, so besteht für den in der unendlich kleinen Zeit $dt$ vor sich gehenden Verlust $d\varphi$ an Torsion fol-

gende Relation: $d\varphi = -a\varphi\, dt$, wo a das Verhältniß darstellt, um welches sich die Elektricität in der Zeiteinheit schwächt, auf welche der Ausdruck von t bezogen wird. Vorstehende Differentialgleichung liefert den Integralausdruck: $\varphi = \varphi_0 \varepsilon^{-at}$, in welchem $\varepsilon$ die Neper'sche Zahl $= 2{,}71828 \ldots$ ist und $\varphi_0$ die anfängliche Torsion bedeutet.

Bezeichnen m, $m_0$ und m′, $m'_0$ die elektrischen Ladungen der beiden Kugeln, so ist $\varphi_0 = m_0 m'_0$ und $\varphi = m m'$. Man erhält daher die Gleichung: $m m' = m_0 m'_0 \varepsilon^{-at}$; und, wenn beide Kugeln einerlei Durchmesser haben, die Gleichung: $m = m_0 \varepsilon^{-\frac{at}{2}}$. — Mittelst der Formel $\varphi = \varphi_0 \varepsilon^{-at}$ läßt sich die einem bestimmten Zeitabschnitte entsprechende Torsion berechnen, wenn die Verhältnißzahl a bekannt ist; und mittelst der Formel $m = m_0 \varepsilon^{-\frac{at}{2}}$ die elektrische Ladung jeder Kugel für jeden Augenblick berechnen. — Um die Anwendung dieser Formeln auf einen besonderen Fall zu zeigen, wollen wir annehmen, daß die ursprüngliche Torsion $150^0$ betragen habe und daß $a = \frac{1}{41}$ gewesen sei. Nach 45 Minuten beträgt hiernach die Torsion $50^0 3'$, während bei dem Versuche Coulomb $50^0$ gefunden hatte. Der Unterschied zwischen dem berechneten und beobachteten Resultate fällt in die Grenzen der Beobachtungsfehler. — Dagegen war die elektrische Spannung jeder Kugel auf den 0,0036ten Theil ihres ursprünglichen Betrags herabgesunken.

Durch eine Reihe auf die angegebene Weise sorgfältig angestellter Versuche fand Coulomb, daß der Coefficient a bei trockener Luft $\frac{1}{60}$ bis $\frac{1}{70}$ beträgt, bei feuchter Luft aber auf $\frac{1}{20}$ bis $\frac{1}{10}$ der mittleren Spannung steigt, weßhalb an feuchten Tagen keine genauen Versuche möglich sind. — Weiter ergab sich aus jenen Versuchen, daß das Gesetz der Abnahme seine Gültigkeit behält, in welchem Verhältnisse immer die Volumen der beiden Kugeln zu einander standen und in welchen Verhältnissen sie elektrisirt wurden. — Auch ändert sich dieses Verhältniß nicht, wenn man die Kugeln aus verschiedenem Stoffe nimmt; was sehr gut mit der schon früher gemachten Bemerkung übereinstimmt, daß nämlich die Körper die Elektricität keineswegs durch eine besondere Verwandtschaft festzuhalten scheinen. Endlich fand Coulomb, daß das angeführte Gesetz nicht blos für Kugeln, sondern auch für anders gestaltete Körper gilt, wenn sie keine Ecken haben.

In neuerer Zeit hat Matteucci über den durch die Berührung mit der Luft herbeigeführten Elektricitätsverlust eine ausführliche Untersuchung angestellt, deren Hauptresultate folgende sind: 1) Bei gleicher Temperatur und einerlei Drucke ist der Elektricitätsverlust in den verschiedenen Gasen der nämliche, wenn sie vollkommen trocken sind. 2) Die Beschaffenheit

der Substanz hat durchaus keinen Einfluß auf den Verlust an Elektricität, den die Berührung der Gase bewirkt. — 3) Bei starken Ladungen folgt der Elektricitätsverlust nicht mehr dem Coulomb'schen Gesetze; dasselbe ist mithin nur innerhalb gewisser Grenzen richtig. — 4) Bei nicht zu starken Ladungen ist er dagegen für positive Elektricität geringer als für negative.

Um den Verlust der Elektricität auszumitteln, welchen ein unvollkommen isolirender Träger herbeiführt, hing Coulomb die unbewegliche Kugel seiner elektrischen Wage nicht mehr an einem vollkommen isolirenden Faden von Gummilack auf, sondern mittelst der wohl getrockneten Substanz, welche er untersuchen wollte. Nachdem beide Kugeln zugleich elektrisirt waren, bestimmte er auf die oben angegebene Weise den während einer Minute erlittenen Verlust an Elektricität, zog davon den durch die Luft erlittenen Verlust ab; der Rest gab den Verlust, welchen die Substanz hervorbrachte. — Dergestalt fand Coulomb, daß der Elektricitätsverlust bei verschiedenen Trägern ein anderer ist, bei allen aber desto beträchtlicher sich herausstellt, je größer die elektrische Spannung ist. Weiter fand er, daß bei einer gewissen Grenze der Verlust genau soviel beträgt, als wenn eine vollkommene Isolirung stattgefunden hätte. Wenn man daher den isolirenden Trägern eine hinreichende Länge und Dicke gibt, läßt sich der Verlust auf den Betrag herabsetzen, welche die Berührung mit der Luft bewirkt.

## 3. Vertheilung der Elektricität auf Körpern.

Die freie Elektricität zeigt sich bei den isolirten Leitern nur an deren Oberfläche. Folgende Versuche machen diese bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit der statischen Elektricität anschaulich. — Man theile erstens zwei isolirten einander berührenden Metallkugeln, von denen die eine massiv die andere hohl ist, aber beide gleiche Oberfläche haben, Elektricität mit. Man findet mit Hülfe der Drehwage, daß die eine wie die andere Kugel dieselbe elektrische Ladung besitzt. Daraus muß man schließen, daß die Elektricitätsmenge nicht von der Masse des Leiters abhängt, sondern sich auf dessen Oberfläche begibt, worauf sie eine Schichte von größerer oder geringerer Dicke bildet. Die Ausdrücke elektrische Spannung und Dicke der elektrischen Schichte sind daher als genau proportionale Größen anzusehen. — Man elektrisire zweitens eine auf einem isolirenden Fuße stehende hohle Metallkugel, welche an ihrem oberen Theile eine kleine Oeffnung hat. Berührt man die Kugel an irgend einem Theil ihrer Außenfläche mit dem Probescheibchen, so wird dasselbe elektrisch. Dagegen bleibt das Scheibchen unelektrisch, wenn man die Kugel an ihrer Innenfläche berührt, vorausgesetzt, daß man wohl Acht gibt, nicht an den Rand der Oeffnung zu kommen. — Es kann sich zuweilen ereignen, daß das Probescheibchen,

nachdem es aus der Höhlung zurückgezogen ist, schwache Spuren der entgegengesetzten Elektricität von jener der Kugel zeigt. In solchem Falle hat dann eine Elektrisirung durch Vertheilung stattgefunden, welche jedoch immer verschwindet, wenn der Stiel des Probescheibchens ein guter Isolator, die Luft trocken ist und das Scheibchen nicht zu lange in der Höhlung bleibt. — Man nehme drittens zwei hohle metallene Halbkugeln und gebe ihnen eine solche Gestalt, daß sie aneinander schließend eine auf isolirendem Glasfuße ruhende Metallkugel völlig einhüllen. Theilt man nun dieser Kugel Elektricität mit, und legt dann um sie die beiden an den isolirenden Handhaben befestigten Halbkugeln, daß sie die Kugel ganz einschließen; so werden nach dem Abheben die Halbkugeln alle Elektricität aufgenommen haben und die Kugel selbst wird vollkommen unelektrisch sein. Zum Gelingen des Versuchs ist nöthig, daß die Ränder beider Hüllen nach Außen gekehrt sind, damit sie nicht die Oberfläche der umschlossenen Kugel berühren, weil sonst beim Zurückziehen der Hüllen eine Entladung stattfinden und so die Kugel wieder elektrisch erscheinen würde. — Man theile viertens einer auf einem isolirenden Stativ befestigten Metallscheibe, auf welcher ein Cylinder aus feinem metallischen Gewebe steht, Elektricität mit. Mit Hülfe des Probescheibchens findet man, daß der Cylinder an der äußeren nicht aber an der inneren Fläche elektrisch ist.

Um das Gesetz der Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche der Leiter von beliebiger Form auf experimentalem Wege zu untersuchen, bediente sich Coulomb eines kleinen an dem Ende eines Fadens von Gummilack angebrachten Scheibchens Goldpapier, welches er an verschiedenen Stellen der Oberfläche des zu untersuchenden Körpers legte. Das Scheibchen ladet sich an den verschiedenen Stellen mit einer Elektricitätsmenge, welche der daselbst vorhandenen proportional ist. Brachte er daher das Scheibchen in die Torsionswage und beobachtete er die Drehung, welche dem Faden ertheilt werden mußte, damit die bewegliche Scheibe, die zuvor mit gleichnamiger Elektricität geladen war, in einem bestimmten Abstande vom Probescheibchen stehen blieb; so war die Torsion jedesmal der Dicke der elektrischen Schichte an der entsprechenden Stelle proportional. Aus den Abstoßungen, welche das Probescheibchen nach auf einander folgenden Berührungen mit den einzelnen Stellen der Oberfläche eines elektrisirten Leiters auf die bewegliche Scheibe der Drehwage in einer bestimmten Entfernung ausübt, läßt sich also die Art der Vertheilung der Elektricität auf jener Oberfläche ermitteln.

Die Richtigkeit dieses Verfahrens erhellet aus folgendem Experiment. Man berühre zwei bestimmte von einander verschiedene Punkte A und A′ eines isolirten Leiters nach einander mit dem Probescheibchen und beobachte die Drehungen $\varphi$ und $\varphi'$, welche erforderlich sind, um der Absto-

ßung zwischen dem Scheibchen und der beweglichen Scheibe, die vorher mit gleichartiger Elektricität geladen war, in einem bestimmten Abstande $\alpha$ das Gleichgewicht zu erhalten. — Nach einiger Zeit wiederhole man die Operation, indem man abermals die beiden Punkte A, A′ nach einander mit dem Probescheibchen berührt, und messe die Torsionen $\varphi_1$ und $\varphi'$, wie vorhin. Die Größe der beiden letzteren Drehungen wird sich vermindert zeigen, weil die elektrische Ladung des Leiters durch die Berührung mit der Luft schwächer geworden ist; allein das Verhältniß der letzten beiden Drehungen wird dem der ersten gleich geblieben sein. — Soll die Vergleichung genau ausfallen, so muß zwischen der Aufeinanderfolge der Berührungen von A und A′ bei dem ersten wie beim zweiten Versuche die nämliche Zwischenzeit verfließen, damit der Elektricitätsverlust in einem wie in dem andern Falle verhältnißmäßig gleich erfolgt.

Bei Vergleichung der auf diese Weise gewonnenen Resultate ist es nöthig, den durch die Luft verursachten Elektricitätsverlust in Rechnung zu bringen. Durch ein sehr einfaches Mittel hat Coulomb die Resultate von jenem Elektricitätsverlust unabhängig zu machen gewußt. — Man berührt zu diesem Behuf den Punkt A des Leiters mit dem Probescheibchen und bringt es darauf in die Drehwage; es sei $\varphi$ die Torsion des Fadens, damit die zuvor mit gleichartiger Elektricität geladene bewegliche Scheibe in einem bestimmten Abstande vom Probescheibchen verharre. — Darauf berührt man den Punkt A′ mit dem Scheibchen und bringt es abermals in die Drehwage; es sei $\varphi'$ die Torsion des Fadens, um die beiden Scheiben in dem bestimmten Abstande von einander zu halten. — Nach einer zwischen diesen beiden Versuchen verstrichenen gleichen Zeit berührt man endlich wiederholt den Punkt A mit dem Probescheibchen und bringt es in die Drehwage; es sei $\varphi_1$ die Torsion des Fadens, welche jetzt erforderlich ist, damit die Entfernung der beiden Scheiben unverändert bleibe. Die Größe $\frac{\varphi + \varphi_1}{2}$ drückt dann die Torsion des Fadens aus, welche man erhalten haben würde, wenn die Berührung von A in demselben Augenblicke, in welchem sie bei A′ wirklich stattgefunden hat, vorgenommen worden wäre. — Es verhält sich mithin die Dicke der elektrischen Schichte in A zu der in A′ wie $\frac{\varphi + \varphi_1}{2}$ zu $\varphi'$.

Einige auf diesem Wege von Coulomb aufgefundene Resultate sind folgende. Die Dicke der elektrischen Schichte auf der Oberfläche einer Kugel ist an allen Punkten gleich groß. — Bei einem Rotationsellipsoid ist die Dicke der elektrischen Schichte nicht mehr an allen Punkten gleich; sie ist am stärksten an der am meisten gekrümmten Stelle und am schwächsten an der am wenigsten gekrümmten Stelle. — Bei einem cylindrischen

an den Enden abgerundeten Leiter ist die elektrische Spannung an den Enden am größten und nimmt gegen die Mitte mehr und mehr ab. — Auf einer rechteckigen Tafel bleibt sich die Elektricität von der Mitte an bis in einiger Entfernung von den Enden ziemlich gleich, nimmt aber an den Enden in einem raschen Verhältniß zu.

Coulomb hat durch dasselbe Experimentalverfahren auch die Vertheilung der Elektricität auf zwei sich berührenden leitenden Kugeln untersucht. Die Resultate dieser Beobachtungen sind folgende: An der Berührungsstelle zeigt sich keine Spur von Elektricität; von da nimmt aber die Elektricitätsspannung auf beiden Kugeln zu und erreicht auf den zwei der Berührungsstelle diamatral entgegengesetzten Punkten den größten Werth. — Sind die beiden Kugeln ungleich groß, so ist die Dicke der elektrischen Schichte auf dem der Berührungsstelle abgewendeten Theile der kleinen Kugel größer als auf dem entsprechenden Theile der großen: das Verhältniß dieser Dicken wächst mit dem Verhältnisse der Radien der beiden Kugeln und nähert sich der Grenze 4. — Trennt man die Kugeln soweit von einander, daß sie nicht mehr auf einander einwirken können, so ist die Ladung der kleinen Kugel stärker als die der Großen: das Verhältniß dieser Ladungen nimmt mit dem Verhältnisse der Radien zu und nähert sich der Grenze 2. — Wenn man die Kugeln nur soweit von einander entfernt, daß sie noch einen gegenseitigen Einfluß auf einander ausüben, so erhält die kleine Kugel in dem der großen nächst gelegenen Punkte eine Elektricität, welche jener der letzteren entgegengesetzt ist: diese entgegengesetzte Elektricität wird immer schwächer, je weiter man die Kugeln von einander entfernt; sie verschwindet gänzlich, wenn diese Entfernung ohngefähr dem Halbmesser der großen Kugel gleich kommt; und geht endlich in die mit jener der großen Kugel gleichartige Elektricität über, wenn jene Entfernung noch größer wird.

Die Art der Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche eines Leiters sowie überhaupt die Anordnung der Elektricitäten auf den Oberflächen einer beliebigen Zusammenstellung von Leitern hat Poisson auch auf theoretischem Wege untersucht; er ist dabei zu bemerkenswerthen Folgerungen gelangt, welche mit den Beobachtungsresultaten von Coulomb gut übereinstimmen. Er ging dabei von dem Grundsatze aus, daß im Zustande des Gleichgewichts die Gesammtaction der auf der Oberfläche eines Leiters befindlichen Elektricität auf jeden im Innern des Leiters gelegenen Punkt gleich Null ist, und daß die gegenseitigen elektrischen Wirkungen im umgekehrten Verhältniß der Quadrate der Entfernungen und im directen Verhältniß der vorhandenen Elektricitätsmengen stehen. Wir können uns auf das in seiner Allgemeinheit aufgefaßte Problem der Vertheilung der Elek-

tricität hier nicht einlassen, sondern höchstens an einem einfachen Beispiele zeigen, wie jenes Princip zur Anwendung kommt.

Wir betrachten zu diesem Behufe einen Punkt A im Innern einer elektrisirten Kugel. — Legt man auf den durch A gehenden Kugeldurchmesser eine senkrechte Ebene, so zerfällt die Kugelfläche in zwei Zonen, wovon die eine oberhalb, die andere unterhalb gedachter Ebene liegt. Man theile jetzt eine dieser Zonen in unendlich kleine Stückchen und lasse nun durch A gehende gerade Linien sich längs des Umfanges jedes solchen Flächenstückchens bewegen; so werden jene Linien auf der anderen Zone eben so viele Flächenstückchen beschreiben. Die elektrischen Wirkungen je zwei solcher correspondirenden Flächenstückchen f und f' auf A heben einander auf. Bezeichnen daher $\delta$ und $\delta'$ die Dicken der daselbst vorhandenen elektrischen Schichten, ferner r und r' die Entfernungen jener Flächenstücke von A; so hat man die Relation: $\frac{f\delta}{r^2} = \frac{f'\delta'}{r'^2}$. Bei der Kugel ist aber $\frac{f}{r^2} = \frac{f'}{r'^2}$; folglich $\delta = \delta'$, d. h. die Elektricität auf der Oberfläche der Kugel bildet im Gleichgewichtszustande eine gleichförmig dichte Schichte. — Für einen nicht kugelförmigen Leiter ist aber nicht mehr durchgehends $\frac{f}{r^2} = \frac{f'}{r'^2}$; woraus folgt, daß sich die Elektricität an einem solchen Leiter nicht mehr gleichförmig lagert, sondern an den spitzeren Theilen sich stärker anhäuft als an den flacheren.

## 4. Elektrische Wirkung der Spitzen und Flammen.

Die Elektricität häuft sich an feinen Spitzen in dem Grade an, daß sie den Widerstand der umgebenden Luft überwindet und in dieselbe ausströmt. Hiervon überzeugt man sich, wenn man ein Elektroskop auf den Conductor der Elektrisirmaschine stellt. Die Abweichung des Pendels fällt dann sehr verschieden aus, je nachdem der Conductor mit einer Spitze versehen ist oder nicht. — Wenn man den Versuch im Dunkeln anstellt, bemerkt man an der Spitze eine Strahlenkrone oder ein Strahlenbüschel, je nachdem der Conductor mit negativer oder positiver Elektricität geladen ist. — Dieser Unterschied scheint sich jedoch mehr und mehr zu verlieren, je stärker die Elektricität auf dem Leiter angehäuft ist.

Wenn man eine mit dem Boden in leitender Verbindung stehende Metallspitze dem Conductor der Elektrisirmaschine nähert, so ist es ebenfalls unmöglich ihn zu laden. Die Elektricität des Conductors zerlegt die verbundenen Elektricitäten der Spitze, indem sie die gleichnamige Elektricität in den Boden zurücktreibt und die entgegengesetzte Elektricität gegen die Spitze zieht und dadurch die Elektricität des Conductors neutralisirt. — Im Dunkeln zeigt sich eine Lichterscheinung, welche die umgekehrte von

der im vorhergehenden Falle angeführten ist. Man bemerkt nämlich an der Spitze einen Strahlenbüschel oder eine Strahlenkrone, je nachdem der Conductor negativ oder positiv elektrisch ist.

Hält man der auf dem Conductor der Elektrisirmaschine befindlichen Spitze die Hand entgegen, so empfindet man ein Blasen, gleichsam als wäre ein Luftstrom aus der Spitze getreten. Dieser elektrische Wind vermag eine Kerzenflamme merklich von ihrer verticalen Richtung abzulenken und selbst auszulöschen. Man kann entweder die Spitze auf den Conductor und die Flamme daneben stellen, oder die Kerze auf den Conductor setzen und die Spitze ihr entgegen halten; in dem einen wie in dem andern Falle wird der Wind von der Spitze ausgehen. — Der elektrische Wind ist aller Wahrscheinlichkeit nach eine Folge der Bewegung der Lufttheilchen, welche von der in den Spitzen angehäuften Elektricität angezogen und dann abgestoßen werden, um anderen Lufttheilchen Platz zu machen, welche ebenfalls zurückgestoßen werden, nachdem sie vorerst elektrisch geworden sind.

Flammen, glimmende Körper, Feuerschwämme, Rauchkerzen wirken noch stärker ableitend als metallene Spitzen. Man überzeugt sich davon, wenn man einen elektrisirten Leiter mit dergleichen Körpern versieht oder sie in seine Nähe bringt. Die Flammen und verbrennenden Körper sind nämlich mit einer Menge nach allen Seiten in die Luft hinausragender Spitzen versehen zu betrachten, welche an Feinheit die metallenen Spitzen noch übertreffen. Daher kommt es denn auch, daß die elektrische Wirkung der Flammen sich unter solchen Umständen zu erkennen gibt, in denen die elektrische Spannung viel zu gering ist, um einen elektrischen Wind verursachen zu können.

## III. Elektrische Apparate.

### 1. Elektrisirmaschinen.

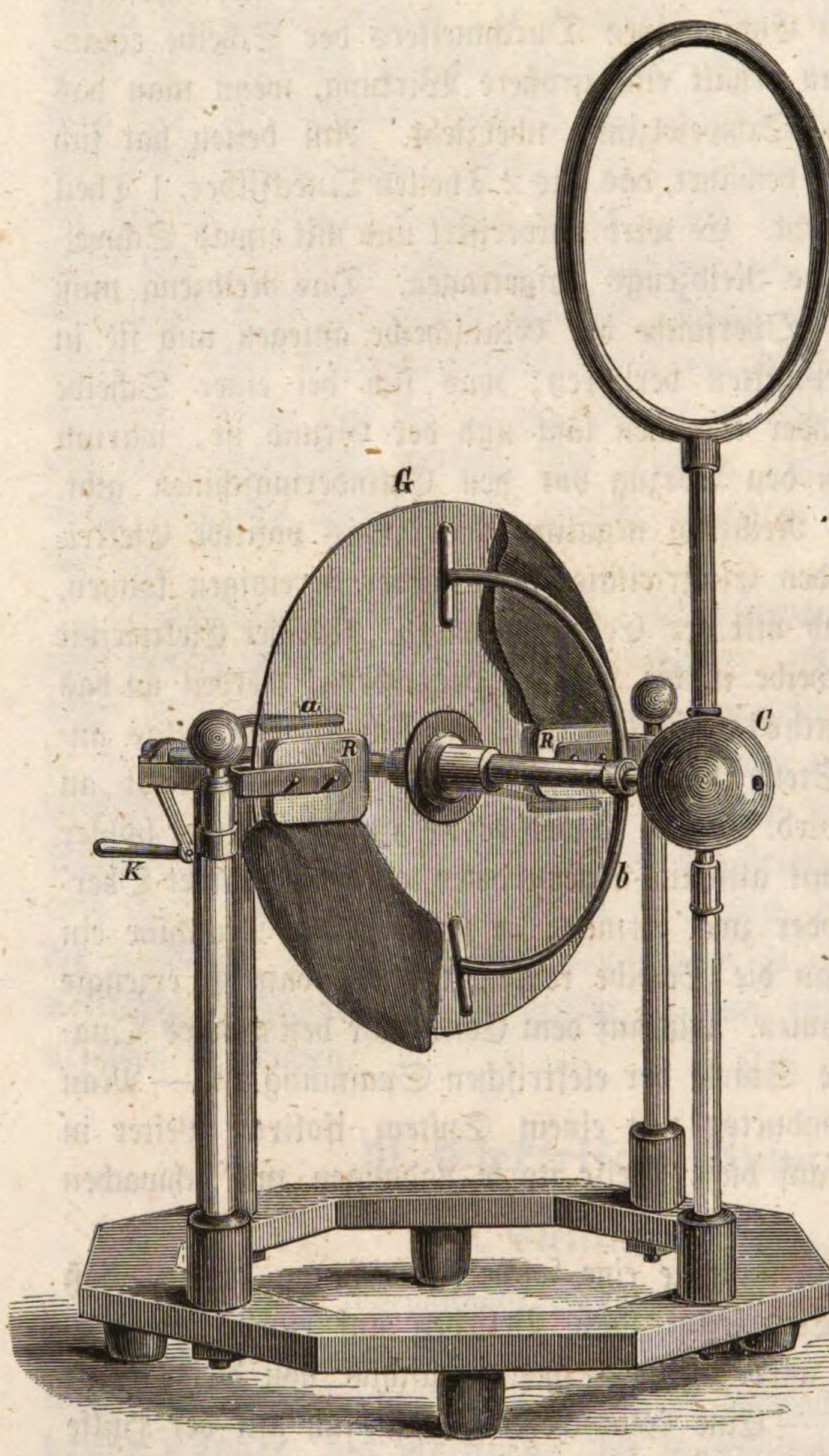
Mittelst der sogenannten Elektrisirmaschinen lassen sich die elektrischen Erscheinungen in größerer Stärke vor Augen legen. Bei einer solchen Maschine kommen vier Dinge in Betracht, nämlich: der zu reibende Körper, das Reibzeug, die Fortsetzung des Reibzeugs und der Conductor. Der zu reibende Körper ist gewöhnlich eine kreisrunde Glasscheibe, seltener ein Glascylinder; weßhalb man zwischen Scheibenmaschinen und Cylindermaschinen unterscheidet. Durch den Mittelpunkt der verticalstehenden Scheibe geht senkrecht gegen ihre Ebene eine mit einer Kurbel versehene Achse, welche durch ein passendes Gestell getragen wird und die Scheibe in drehende Bewegung zu versetzen gestattet. Weißes, durchsichtiges, helles, hartes Glas ist nach mehrfachen Erfahrungen allem an-

dern vorzuziehen. Glas, welches ein milchiges Aussehen hat, leistet schlechte Dienste. — Das Reibzeug besteht in einem Paar lederner Kissen, welche von beiden Seiten an der Scheibe anliegen und mittelst Federn an dieselbe angedrückt werden. Häufig sind die Elektrisirmaschinen mit zwei Reibzeugen versehen, welche an den Enden eines Durchmessers der Scheibe einander gegenüber stehen. Man erhält eine größere Wirkung, wenn man das Lederkissen mit Mussivgold (Schwefelzinn) überzieht. Am besten hat sich das Kienmayer'sche Amalgam bewährt, das aus 2 Theilen Quecksilber, 1 Theil Zink und 1 Theil Zinn besteht. Es wird pulverisirt und mit etwas Schweineschmalz auf das Leder des Reibzeugs aufgetragen. Das Reibzeug muß sich möglichst genau an die Oberfläche der Glasscheibe anlegen und sie in einer großen Menge von Punkten berühren; was sich bei einer Scheibe leichter als bei einem Cylinder erreichen läßt und der Grund ist, warum man den Scheibenmaschinen den Vorzug vor den Cylindermaschinen gibt. Durch Reibung erhält das Reibzeug negative, das Glas positive Elektricität. Damit sich diese beiden Elektricitäten nicht wieder vereinigen können, werden die Reibzeuge leitend mit der Erde verbunden. Um der Elektricität den Uebergang von der Scheibe in die Luft zu verhindern, werden an das Reibzeug zwei Stücke Wachstaffet befestigt, die sich an das Glas anlegen und es bis zu der Stelle bedecken, an welcher die Elektricität an den Conductor abgegeben wird. — Der Conductor ist ein isolirter hohler Körper aus Messingblech mit allseitig abgerundeter und wohlpolirter Oberfläche, welcher mit einem oder zwei Armen, je nachdem die Maschine ein oder zwei Reibzeuge hat, an die Scheibe reicht, um die daselbst erzeugte Elektricität in sich aufzunehmen. Ein auf dem Conductor befindliches Quadrantenelektrometer zeigt die Stärke der elektrischen Spannung an. — Man setzt zuweilen auch den Conductor mit einem System isolirter Leiter in Verbindung; man vermag auf diese Weise starke Ladungen mit schwachen Spannungen zu erhalten.

Man kann der Elektrisirmaschine eine solche Einrichtung geben, daß die eine oder die andere Elektricität nach Belieben auf einen und denselben Conductor angehäuft wird. Eine Scheibenmaschine von dieser Gattung stellt die Figur 7 dar. — Eine Glasscheibe G läßt sich mit der Hülfe der Kurbel K um eine horizontale Achse zwischen zwei Paar isolirten Reibkissen R in drehende Bewegung versetzen. Vor der Scheibe befindet sich ein Metallbogen a, der eine horizontale oder verticale Stellung annehmen kann. Ein zweiter ähnlicher Metallbogen b ist an dem isolirten kugelförmigen Conductor C angebracht. — In der horizontalen Lage kommt der Metallbogen a mit den Reibkissen in Berührung, wodurch die negative Elektricität mittelst einer an der Achse angehängten Metallkette nach dem Erdboden abgeleitet wird; der in verticaler Stellung befindliche Metallbo-

gen b führt seinerseits dem Conductor die positive Elektricität zu. — Bringt man dagegen den Metallbogen a in die verticale Lage, so wird nun die positive Elektricität nach der Erde abgeleitet, während der horizontal liegende, mit den Reibkissen in Berührung stehende Metallbogen b jetzt den Conductor mit negativer Elektricität ladet.

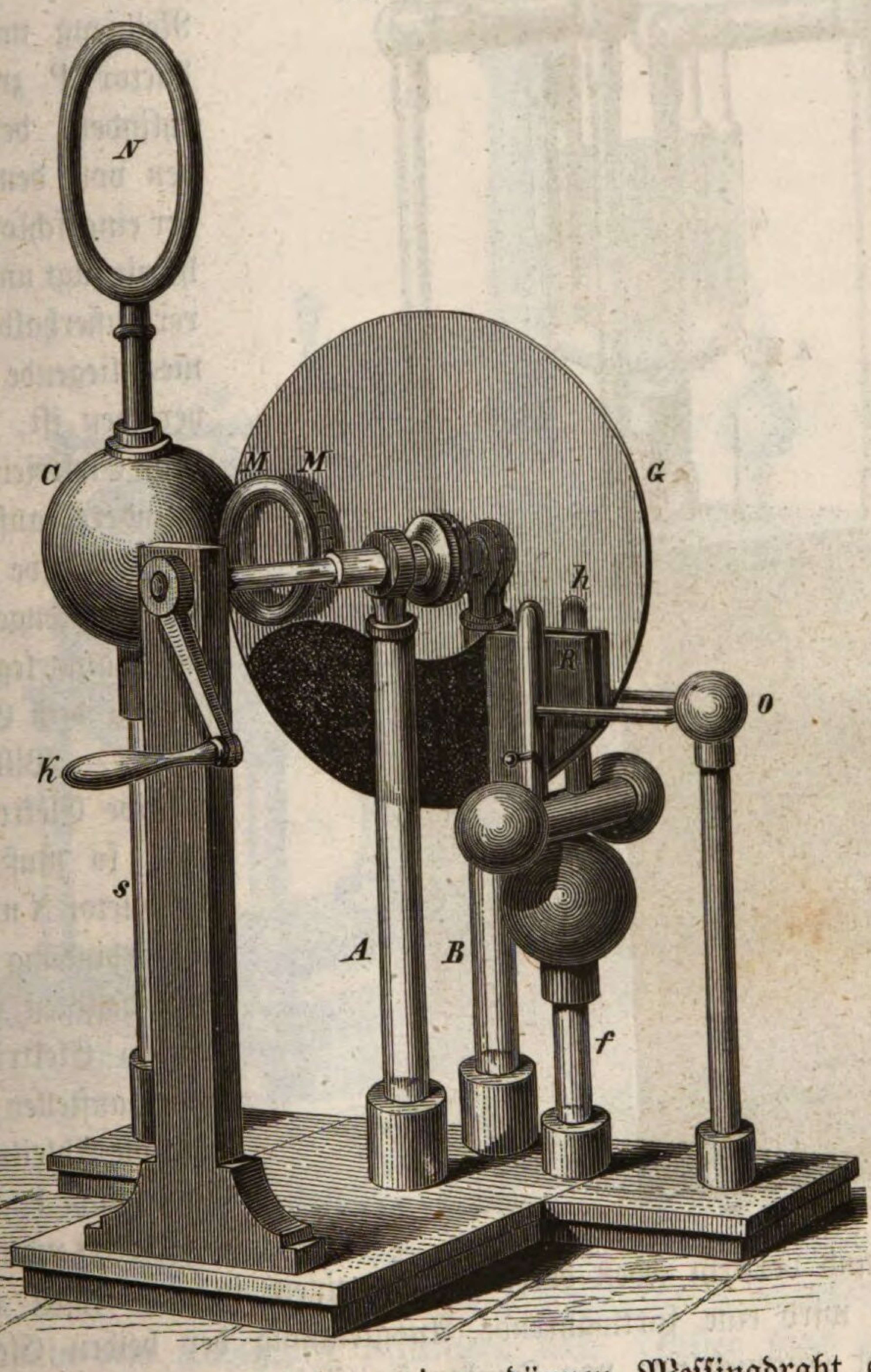
Fig. 7.




In Figur 8 ist die von dem Wiener Mechaniker Winter construirte Elektrisirmaschine abgebildet, welche sich durch kräftige Wirkungen auszeichnet. Auf einem Brette stehen die zwei hölzernen Ständer A und B, welche die horizontal liegende gläserne Achse der Glasscheibe G tragen. Die Scheibe wird mittelst der Kurbel K gedreht. — Auf den Glasfuß f ist das gabelförmige Holzstück h aufgekittet, welches zur Aufnahme des Reibzeugs R dient. Dasselbe besteht in einem amalgamirten Leder, an welches sich ein Lappen von Wachstaffet ansetzt, der nochmals mit Schellack gefirnißt an der Glasscheibe anliegt. Ein solches Reibzeug wird auf jeder Seite der Glasscheibe angebracht und durch Federn gleichmäßig gegen dieselbe angedrückt. Ein in dem gabelförmigen Holzstücke befindlicher Streifen von Messingblech führt die negative Elektricität des Reibzeugs zu dem daran angesteckten kleinen messingenen Conductor O. — Die auf dem Glasfuße s isolirte Messingkugel C trägt auf der der Scheibe zugewendeten Seite zwei Ringe **MM** von polirtem Holze, welche an der Innenseite mit einer Rinne ver-

sehen sind, die mit Staniol ausgelegt und mit feinen, gegen die Scheibe gerichteten Metallspitzen besetzt ist. Auf den Conductor C wird der mit einem hölzernen Stiel versehene Holzring N aufgesteckt, welcher in einer

Fig. 8.

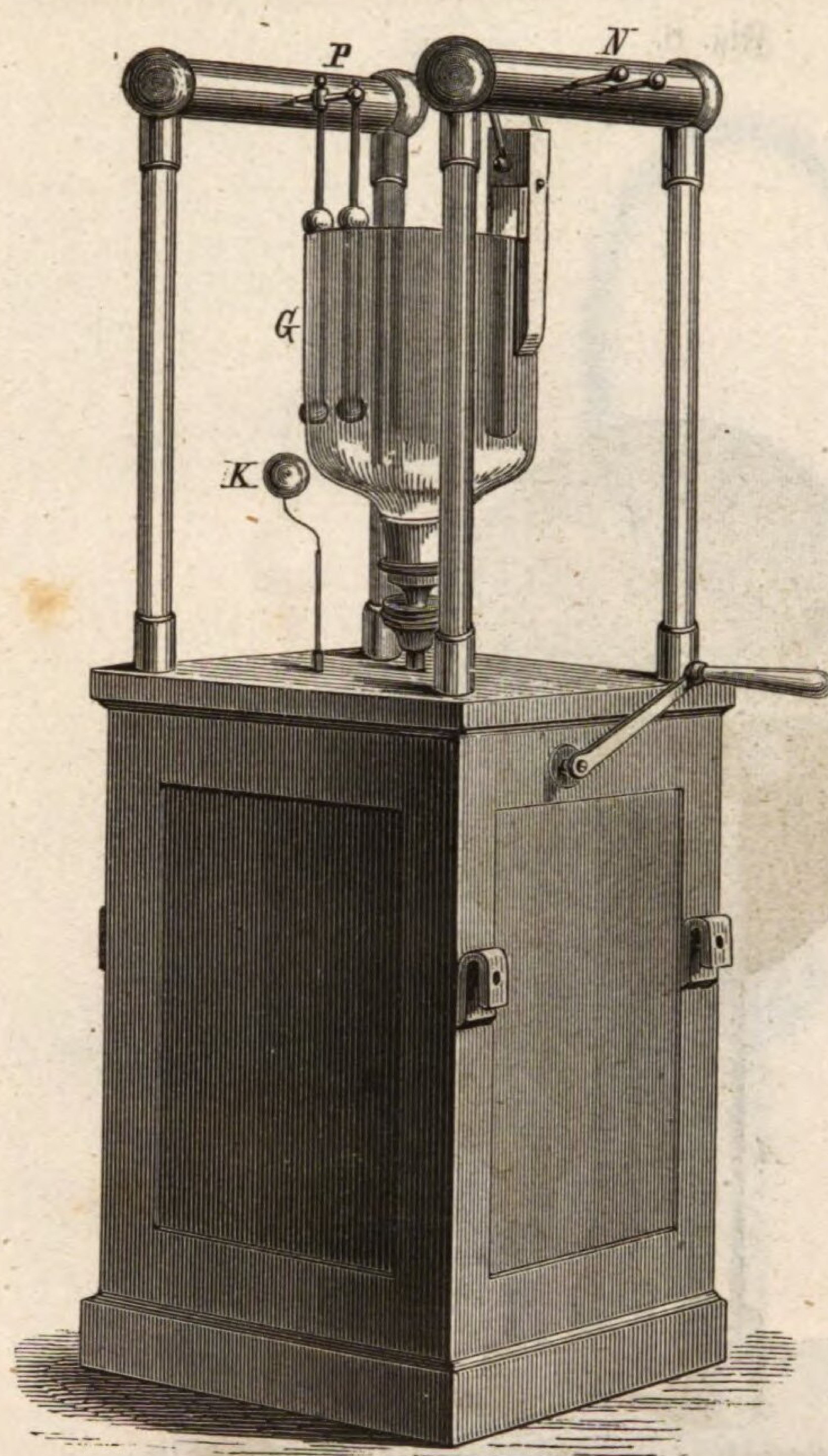



im Innern angebrachten Höhlung einen dünnen Messingdraht einschließt. Durch Aufsetzen dieses Holzringes wird namentlich die Länge der Funken bedeutend vermehrt. — Will man die negative Elektricität benützen, so wird der Conductor C mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht; die negative Elektricität sammelt sich alsdann auf dem Conductor O des Reibzeuges an.

Eine recht gute Cylindermaschine, mit welcher man die eine wie die andere Elektricität ansammeln kann, ist die in Figur 9 dargestellte. Auf der Mitte eines starken hölzernen Postamentes befindet sich ein um seine

verticale Achse drehbarer hohler Glascylinder G und zu beiden Seiten die mit einander nicht in Verbindung stehenden auf Glasfüßen isolirten Conductoren P und N. Der Conductor N trägt das Reibzeug und der Conductor P zwei Messingcylinder, deren einer in den von dem Glascylinder eingeschlossenen Raum hineinragt und deren anderer außerhalb dieses Raumes liegende mit Spitzen versehen ist, um die positive Elektricität des Glascylinders aufzusaugen. Die negative Elektricität des Reibzeuges theilt sich durch aufgelegte Staniolstreifen dem Conductor N mit. — Will man die positive Elektricität benutzen, so muß man den Conductor N mit der Erde in Verbindung setzen; will man dagegen mit der negativen Elektricität Versuche anstellen, so muß man die Ableitung an dem Conductor P anbringen. — Isolirt man beide Conductoren und versieht jeden derselben mit einem in eine Kugel endigenden Arme, so wird eine fortwährende Ausgleichung der beiden Elektricitäten unter steter Entwickelung von Funken stattfinden, wenn die Enden der beiden Arme hinlänglich einander genähert sind. — Die auf dem Postamente befindliche Kugel K läßt sich höher und niederschieben und dient dazu, um Funken aus dem Conductor P zu ziehen.

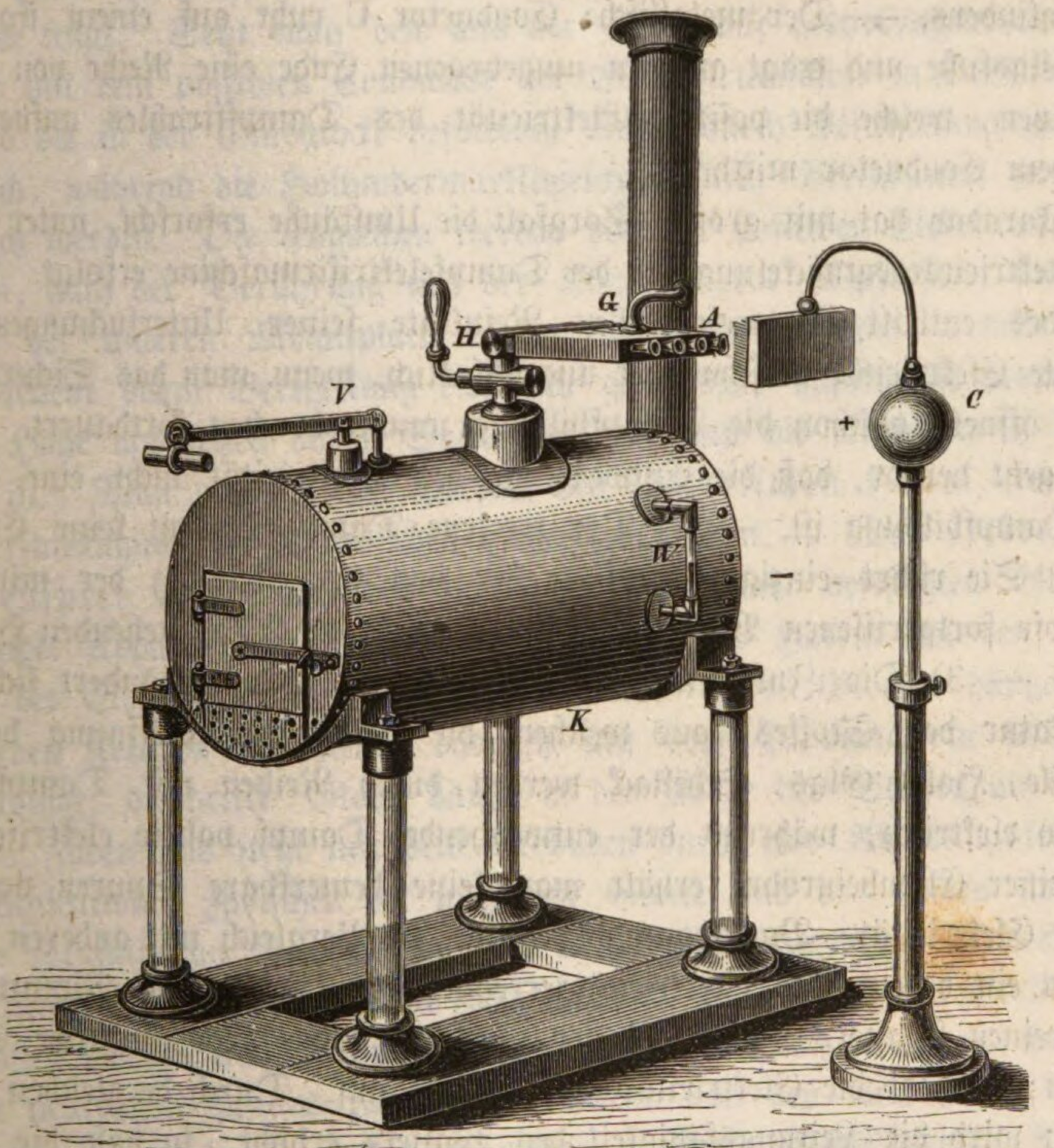
Fig. 9.




Die Dampfelektrisirmaschine, von welcher Figur 10 eine Abbildung zeigt, besteht aus dem Dampfkessel K, dem Kühlgefäß G, den Ausströmungsöffnungen A und dem Conductor C. — Der auf starken isolirenden Glasfüßen ruhende Dampfkessel wird von Innen geheizt

und die erhitzte Luft in Röhren durch das Wasser zum Schornsteine geführt. Die an der Seite angebrachte Glasröhre W gibt die Höhe des Wasserstandes in dem Kessel an. Das Sicherheitsventil v läßt die Dampf-

Fig. 10.




spannung bis auf acht Atmosphären ansteigen. Wenn der Dampf die hinlängliche Spannkraft erreicht hat, wird der Hahn H geöffnet; der Dampf tritt dann in verschiedene durch das Kühlgefäß G durchsetzte Röhren. — Das in dem Kühlgefäße enthaltene kalte Wasser kühlt die Röhren ab, wodurch der durch die Röhren strömende Dampf theilweise niedergeschlagen wird und mit kleinen Wassertröpfchen gemischt ist. Der im Kühlgefäß sich bildende Dampf entweicht durch die Röhre r in den Schornstein des Kessels. — Wichtige Theile der Maschine sind die Ausströmungsöffnungen. Jede solche Ausströmungsöffnung ist ein der Länge nach durchbohrter Metallkörper, der an einem Ende in ein Schraubengewinde ausläuft, durch welches er an die Ausströmungsröhre des Dampfes angeschraubt wird. In dem Metallkörper steckt ein hohler Cylinder von Buchsbaumholz, welcher das Ende der Ausströmungsröhre bildet. Der Holz-

cylinder wird an seiner Stelle durch einen kurzen durchbrochenen Metallcylinder festgehalten, welcher eine auf der Längenachse der Buchsbaumröhre senkrecht stehende Metallplatte trägt. Der Dampf legt so einen mehrfach gekrümmten Weg zurück und reibt sich dabei an den Wänden des Holzcylinders. — Der metallische Conductor C ruht auf einem isolirenden Glasfuße und trägt an dem umgebogenen Ende eine Reihe von Metallspitzen, welche die positive Elektricität des Dampfstrahles aufnehmen und dem Conductor mittheilen.

Faraday hat mit großer Sorgfalt die Umstände erforscht, unter denen die Elektricitätsentwickelung bei der Dampfelektrisirmaschine erfolgt. Nachstehendes enthält die wesentlichen Resultate seiner Untersuchungen. — 1) Alle Elektricität verschwindet augenblicklich, wenn man das Sicherheitsventil öffnet, obschon die Dampfbildung ununterbrochen fortdauert. Daraus geht hervor, daß die Entwickelung der Elektricität nicht eine Folge der Dampfbildung ist. — 2) Der trockene Dampf erzeugt keine Elektricität. Sie rührt einzig und allein her von der Reibung der mit dem Dampfe fortgerissenen Wassertröpfchen an den im Wege stehenden Hindernissen. — 3) Die Intensität der elektrischen Spannung ändert sich mit der Natur des Stoffes, aus welchem die Ausströmungsöffnung besteht. Metalle, Holz, Glas, Schellack werden durch Reiben mit Dampfstrom negativ elektrisch, während der entweichende Dampf positiv elektrisch ist. Mit einer Elfenbeinröhre erhält man keine bemerkbare Spuren von positiver Elektricität. Buchsbaumholz besitzt im Vergleich mit anderen Substanzen ein bedeutendes Elektricitätserregungsvermögen. — 4) Nimmt man statt reinen Wassers solches Wasser, welches saure oder alkalische Stoffe enthält; so hört die Elektricitätsentwickelung auf. Durch dergleichen Substanzen wird die Leitungsfähigkeit des Wassers erhöht, so daß die durch Reibung erzeugte Elektricität sich wieder entladen kann. — 5) Wenn der Wasserdampf Terpentinöl, Baumöl, Wachs oder Harz mit sich führt, wird der Kessel positiv und der Dampf negativ elektrisch. — 6) Die Erhöhung der Dampfspannung verstärkt die Reibung und damit die Elektricitätsentwickelung. — 7) Vergrößert man die Dimensionen des Kessels und vermehrt die Zahl der Ausströmungsöffnungen, so kann man die Menge der entwickelten Elektricität bedeutend erhöhen. — 8) Die Dampfelektrisirmaschine liefert Elektricität in beträchtlich größerer Menge als die Glaselektrisirmaschine.

## 2. Verschiedene Versuche.

Mit der Elektrisirmaschine lassen sich zahlreiche Versuche anstellen, welche die elektrischen Wirkungen noch deutlicher zeigen als die früher angegebenen Versuche. Zunächst wollen wir einige Experimente über die me-

chanischen Wirkungen der Elektricität anführen. — Auf eine mit dem Erdboden in leitender Verbindung stehende runde Metallplatte lege man kleine Hollundermarkkugeln und bedecke sie mit einer Glasglocke, durch deren oberen Hals ein Metallstab geht, der an seinem unteren Ende eine Metallkugel trägt. Setzt man den aus der Glasglocke hervorragenden Metallstab mit dem positiven Conductor der Elektrisirmaschine in Berührung, so wird die in der Glasglocke befindliche Kugel durch Mittheilung positiv elektrisch, während die Hollundermarkkügelchen durch Vertheilung negativ elektrisch werden. Die Kügelchen werden von der positiven Elektricität angezogen, nach der Berührung mit der Kugel wieder abgestoßen, worauf sie auf der unteren Metallplatte in den neutralen Zustand zurückkehren. Von Neuem durch Vertheilung elektrisch geworden, hüpfen sie abermals in die Höhe und setzen dieses Spiel fort, so lange die Maschine in Thätigkeit ist. Man nennt diesen Versuch den elektrischen Hagel, weil er zur Versinnlichung der Volta'schen Hageltheorie dient. — Das elektrische Glockenspiel ist ein aus drei an einem Metallstabe befestigten Glocken bestehender Apparat, der mittelst eines metallenen Hakens an den Conductor der Elektrisirmaschine aufgehängt wird. Zwei Glocken hängen an metallenen Kettchen und stehen dadurch mit dem Conductor in leitender Verbindung; die dritte Glocke hängt in der Mitte des Stabes an einem seidenen Faden und steht mit dem Erdboden durch eine Ableitungskette in Communication. Zwischen der mittleren Glocke und den beiden äußeren hängen ebenfalls an Seidenfäden zwei kleine Metallkügelchen. Die elektrisirten äußeren Glocken ziehen die Kügelchen an, welche nach der Berührung abgestoßen werden und an die mittlere Glocke schlagen; sie kehren dadurch in den neutralen Zustand zurück, um wieder von den elektrischen Glöckchen angezogen und abgestoßen zu werden. Diese wechselseitigen Anziehungen und Abstoßungen wiederholen sich, so lange die Maschine gedreht wird.

Das elektrische Flugrad besteht aus mehreren von einem Mittelpunkt aus laufenden horizontalen Metalldrähten, deren freie Spitzen alle nach einer Richtung umgebogen sind. Der Mittelpunkt des Flugrades ruht auf einer metallenen von einem isolirenden Fuße getragenen Spitze. Wird letztere mit dem Conductor der Elektrisirmaschine verbunden und diese in Thätigkeit gesetzt, so dreht sich das Flugrad in einer der Richtung seiner Spitzen entgegengesetzten Richtung. — Bedeckt man während der Drehung den Apparat mit einer Glasglocke, so wird die Bewegung immer langsamer und verschwindet endlich ganz. Es lies sich dieses Resultat voraussehen; denn die in der Glocke enthaltenen Lufttheilchen werden nach und nach mit der von der Spitze ausgehenden Elektricität geladen, von welchem

Augenblicke an der von den Spitzen herkommende Luftstrom aufhört. — Die gegenseitige Abstoßung mit gleichnamiger Elektricität geladener Körper läßt sich recht schön mit längeren Streifen von Papier zeigen, welche mit dem einen Ende an dem Rande eines leitenden Scheibchens, befestigt vertical herabhängen. Steckt man den das Scheibchen tragenden Metallstab auf den Conductor der Elektrisirmaschine, so sträuben sich die Streifen empor, wenn die Maschine gedreht wird. — Die Haare auf dem Kopfe eines Menschen zeigen eine ähnliche Erscheinung, wenn sich derselbe auf den Isolirschemel stellt und die eine Hand auf den Conductor einer Elektrisirmaschine legt.

Der elektrische Funken vermag leicht brennbare Körper anzuzünden. Man gieße Schwefeläther in ein Metallgefäß, welches mit der Erde leitend verbunden ist, und nähere die Oberfläche der Flüssigkeit einer auf den Conductor der Elektrisirmaschine aufgesteckten Messingkugel: beim Ueberspringen des Funkens entzündet sich die Flüssigkeit. — Alkohol entzündet sich etwas schwerer als der Schwefeläther; der Versuch gelingt doch ebenfalls, wenn man den Alkohol vorher etwas erwärmt. — Man umwickele eine Metallkugel mit Baumwolle und streue darauf Kolophoniumpulver: dasselbe wird entzündet, wenn vom Conductor ein elektrischer Funke auf die Kugel überschlägt, während diese mit dem Reibzeuge leitend verbunden ist. — Die elektrische Pistole dient dazu, um zu zeigen, wie sich Sauerstoff und Wasserstoff durch den elektrischen Funken unter Explosion verbinden. Sie besteht aus einem Metallgefäß, welches eine mittelst eines Korkstöpsels zu schließende Oeffnung hat. In der Wand des Gefäßes ist ein durch eine Glasröhre isolirter in zwei Kugeln endigender Draht befestigt, so daß die im Innern des Gefäßes befindliche Kugel nur wenig von der Wand desselben absteht. Mengt man die atmosphärische Luft des Gefäßes mit Wasserstoffgas, indem man die Oeffnung über eine Flasche hält, in welcher das Gas entwickelt wird, verschließt dann das Gefäß mit dem Korkpropfen, und läßt hierauf auf die äußere Kugel des Drahts von der Kugel einen Funken überspringen; so schlägt dieser von der zweiten Kugel nach der gegenüberstehenden Wand durch die Gasmenge, welche sich entzündet. Dabei wird der Stöpsel unter heftigem Knalle aus der Oeffnung hinausgeschleudert.

Die Wiedervereinigung zweier entgegengesetzten Elektricitäten von hinreichend starker Spannung ist allemal von einer Lichterscheinung begleitet. Nähert man dem Conductor der in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine eine Metallkugel, so springt in einer gewissen Entfernung, die man **Schlagweite** nennt, ein elektrischer Funke über. Die Schlagweite hängt ab, einmal von der Quantität und Intensität der Elektricität, dann von

der Gestalt und Größe des Conductors, ferner von der Form und Materie des Leiters, endlich von dem Zustande der Luft. Die längsten Funken erhält man, wenn man eine auf einem Glasfuße stehende Metallkugel mit dem Reibzeuge leitend verbindet und sie dann einer kleinen am Conductor angebrachten Metallkugel nähert. Nur die Erfahrung kann lehren, welche Dimensionen man diesen beiden Kugeln zu geben habe, um Funken von größtmöglicher Schlagweite zu bekommen. — Wenn man den Conductor der Maschine mit einer kleinen Kugel versieht, und derselben eine zur Erde abgeleitete größere Metallkugel nähert, so erhält man stark verästelte Funken, welche bei einer kräftigen Maschine in einen förmlichen, im Dunkeln bemerkbaren Büschel übergehen. Für positive Elektricität sind die Büschel am größten, für negative Elektricität viel kleiner. — Die Büschel erscheinen auch, wenn man eine kleine Kugel oder einen abgerundeten Metallstab ableitend berührt und gegen den Conductor der Maschine hält; es strömt dann die durch Vertheilung freigewordene Elektricität in Büschelform gegen den Conductor aus. — Der elektrische Funke erscheint selten geradlinig, sondern bildet mehr eine zickzackförmige Linie, welche desto merklicher hervortritt, je länger der Funke ist. Wahrscheinlich hat diese Erscheinung in der großen Schnelligkeit ihren Grund, mit welcher die Elektricität sich bewegt: die Luft wird dadurch im hohen Grade verdichtet und befähigt, dem Funken einen Widerstand entgegenzusetzen, welcher ihn nöthigt jederzeit dahin sich zu wenden, wo der geringste Widerstand stattfindet.

Um dem elektrischen Funken eine größere Ausdehnung zu geben, braucht man nur den Leiter, über welchen die Elektricität hinströmt, an mehreren Stellen durch Nichtleiter soweit zu unterbrechen, daß ein Ueberspringen des elektrischen Funkens erfolgt. Hierauf beruhen die Einrichtungen der Blitzrohre und der Blitztafel. Die Blitzröhre ist eine an beiden Enden mit einer metallenen Fassung versehene Glasröhre, in welcher kleine rautenförmige Staniolstückchen in Form einer Spirale dergestalt aufgeklebt sind, daß die einzelnen Stückchen durch geringe Zwischenräume getrennt sind. Nähert man das eine Ende einer solchen Röhre dem Conductor einer in Bewegung gesetzten Elektrisirmaschine, während das andere Ende mit dem Erdboden in leitender Verbindung steht; so erscheint im Momente der Entladung die Röhre ihrer ganzen Länge nach erleuchtet, indem zwischen jeder Unterbrechung der einzelnen Staniolstückchen ein elektrischer Funke überspringt. — Die Blitztafel ist eine Glastafel, auf welcher zusammenhängende Staniolstreifen aufgeklebt sind mit stellenweise eingeschnittenen Unterbrechungen. Läßt man die Elektricität des Conductors auf das eine Ende des Staniolstreifens überströmen, während das andere Ende ableitend

mit der Erde verbunden ist; so entsteht an jeder Stelle der Unterbrechung ein elektrischer Funke. Auf solche Weise lassen sich die verschiedenartigsten Figuren darstellen.

Die Farbe des elektrischen Funkens ändert sich mit der Natur der Mittel, durch welches er hindurchschlägt, und mit der Beschaffenheit der Leiter, zwischen denen er überspringt. — Wenn der Funke zwischen Messingkugeln überschlägt, hat derselbe in der Luft eine weiße und etwas blaue Farbe. In Stickgas haben die Funken das nämliche Ansehen wie in der Luft, doch sind sie entschieden von mehr blauer Farbe. In Sauerstoff sind die Funken weißer als in Luft, doch nicht so glänzend. In Wasserstoff sind die Funken röthlich, in Kohlensäure grünlich. — Der elektrische Funke ist intensiver, wenn man unter übrigens gleichen Umständen denselben zwischen Zink- und Zinnkugeln überspringen läßt, als wenn die Kugeln von Messing und Eisen sind. Auch wird die Intensität des Funkens bedeutend vermehrt, wenn man statt der Messingkugeln solche nimmt, deren Oberfläche amalgamirt ist. Der Funken zwischen zwei Kohlenstücken ist gelblich, zwischen zwei versilberten Messingkugeln grün. — Der elektrische Funke nimmt über der Oberfläche verschiedener in leitenden Gefäßen enthaltenen Flüssigkeiten verschiedene Farben an. Er fällt mit Wasser ins Röthliche; mit Terpentinöl ins Grünliche; mit Schwefelsäure ins Bläuliche; mit Kalilauge ins Gelbliche.

Manchmal ist die elektrische Entladung blos von einem phosphorescirenden Glimmen der Ausströmungsstelle begleitet. Das Glimmen entsteht in freier Luft am Ende von conisch zulaufenden Metallstäben und zwar desto leichter je dünner die Stäbe sind. — Verdünnung begünstigt das Glimmen. Eine Messingkugel von 4,4 Centimeter Durchmesser, die unter der Glocke einer Luftpumpe durch Vertheilung positiv elektrisch gemacht worden, bedeckte sich auf ihrer ganzen Fläche mit einem Glimmen, als der Luftdruck auf 11,2 Centimeter verringert wurde. — In Luft unter gewöhnlichem Drucke läßt sich das negative Glimmen schwer, dagegen leichter erhalten in verdünnter Luft. — Das Glimmen geht ruhig und geräuschlos vor sich, während Entladungen mit Funken oder Büscheln stets mit einem Geräusche verbunden sind.

Um das elektrische Licht im luftverdünnten Raume schön zu sehen, bedient man sich eines verschlossenen Glasgefäßes von elliptischer Form, welches das elektrische Ei genannt wird. Das Gefäß ist auf einem Messingfuße befestigt und an beiden Seiten mit metallenen Einfassungen versehen, von deren jeder ein in eine Kugel endigender Messingstab in das Innere des Gefäßes geht. Der untere Messingstab ist fest, während der obere luftdicht auf- und niedergeschoben und dadurch die obere Kugel der unteren nach Belieben genähert werden kann. Das Gefäß läßt sich von

seinem Fuße ab und auf die Luftpumpe aufschrauben. — Nach geschehener Verdünnung der Luft sieht man im Dunkeln den Raum zwischen den Kugeln mit einem purpurfarbenen Licht erfüllt, wenn man die eine Fassung mit dem elektrisirten Conductor und die andere mit dem Erdboden in leitende Verbindung bringt. Statt des elliptischen Gefäßes kann man auch eine längere Glasröhre nehmen, welche an beiden Enden mit Metallfassungen versehen ist, in denen zwei einander gegenüberstehende Metallspitzen oder Kugeln befestigt sind. Je weniger die Luft in diesen Gefäßen verdünnt ist, desto mehr nähert sich die Lichterscheinung der Form des gewöhnlichen elektrischen Funkens.

Um das elektrische Licht in der Toricellischen Leere zu beobachten, bedient man sich eines Doppelbarometers, dessen beiden Schenkel über 76 Centimeter lang sind und in zwei mit Quecksilber gefüllte isolirte Gefäße tauchen. Man sieht im Dunkeln im leeren Raum einen Lichtschimmer, wenn man das eine Gefäß mit dem Conductor und das andere mit dem Reibzeuge in Verbindung setzt. — Man kann auch zu diesem Versuche, wie Davy gethan, ein gebogenes Glasrohr nehmen, in dessen vertical stehendem oben verschlossenen Schenkel ein nach außen zu in eine Kugel sich endigender Platinstab hineinragt und an dessen schief liegendem Schenkel eine passende Vorrichtung zum Verdünnen der Luft angebracht ist. Wenn man den Apparat in ein heißes Oelbad oder in eine Kältemischung setzt, kann man zugleich den Einfluß der Temperatur auf die elektrische Lichterscheinung kennen lernen. Auf diese Weise hat sich ergeben, daß die Intensität des elektrischen Lichtes in der sogenannten Toricellischen Leere mit der Erhöhung der Temperatur wächst, mit Erniedrigung der Temperatur aber abnimmt und bei 20° unter Null so schwach ist, daß einige Spuren von Licht nur in einem sehr dunklen Zimmer bemerkt werden können.

Sehr glänzend nehmen sich die elektrischen Lichterscheinungen mit Glasröhren aus, welche namhaft verdünnte Gase oder einige Dämpfe von Terpentinöl, Schwefelkohlenstoff, Alkohol und Phosphor enthalten. Dergleichen Röhren tragen an ihren beiden Enden eingeschmolzene Platindrähte, deren einer in die geeignete Nähe des Conductors der Elektrisirmaschine gebracht und der andere auf irgend eine Weise für Ableitung verwendet wird. Solche Röhren erscheinen dann mit dem sogenannten g e s c h i c h t e t e n Lichte e r f ü l l t, d. h. mit einem annähernd homogenen durch dunkle Linien unterbrochenen Lichte, das überdies vibrirend zu sein scheint. — Die Schichtung erfolgt, mag die Röhre positiv oder negativ elektrisch geladen werden. — Eine geringe Erwärmung der Röhre veranlaßt auffallende Modificationen der Erscheinungen. Die bloße Annäherung der Hand vermag schon besondere Einwirkungen in dem Phänomen hervorzubringen.

Ueber die Natur des elektrischen Lichtes ein bestimmtes Urtheil abzugeben sind wir bis jetzt noch nicht im Stande. Zwei verschiedene Ansichten sind darüber aufgestellt worden. Nach der einen Ansicht rührt das elektrische Licht her von feinen bei der Entladung losgerissenen Körpertheilchen, welche im glühenden und geschmolzenen Zustande sich befinden. Für diese Ansicht spricht der Umstand, daß der Funke lebhafter wird, wenn die Metalle eine geringere Festigkeit besitzen, mithin die Theilchen leichter fortgerissen werden können. Nach der zweiten Ansicht geräth der Aether durch Einwirkung der Elektricität in Schwingungen. Diese Ansicht hat in der Thatsache eine mächtige Stütze, daß der elektrische Funke auch da wahrgenommen wird, wo eine eigentliche Verbrennung unmöglich ist, wie im Stickgas und im Wasser.

Das elektrische Licht ist auch mit Hülfe des Prismas analysirt worden in ähnlicher Weise, wie es mit dem Sonnenlichte geschehen ist. Man hat so gefunden, daß die dunkeln Linien im Farbenspectrum des weißen elektrischen Lichtes sich anders verhalten, als die dunkeln Linien im Spectrum des Sonnenlichtes. — Ferner hat sich herausgestellt, daß das Spectrum sich mit der Beschaffenheit der Metalle ändert, zwischen denen der Funke überschlägt. — Weiter hat sich ergeben, daß in sämmtlichen Gasen die Anordnung der dunklen Streifen einerlei ist. Endlich hat man gefunden, daß die Lage und Anzahl der dunklen Linien nicht von der Stärke des Funkens abhängt.

Der elektrische Funke übt beim Ueberspringen auf einen Theil des menschlichen Körpers einen örtlichen stechenden Schmerz aus. Auf der Zunge erregt die Elektricität einen eigenthümlichen Geschmack, welcher bei der positiven Elektricität dem sauren, bei der negativen dagegen dem alkalischen sich mehr nähert. — In der Nähe einer auf den Conductor gesteckten Spitze empfindet man einen eigenthümlichen elektrischen Geruch, ähnlich dem von Phosphor. Dieser Geruch beruht nicht in einer besonderen Affection der Geruchsorgane durch die Elektricität, sondern ist, wie Schönbein dargethan hat, einem eigenthümlichen Gase zuzuschreiben, welches er Ozon nannte. — Nähert man der Ausströmungsspitze ein mit Jodkaliumkleister befeuchtetes Papier, so färbt sich dieses blau, indem sich das Jod mit der Stärke verbindet. Das Bläuen des Jodkaliumkleisters findet auf einerlei Weise statt, welcher Art auch die Elektricität sein mag. Wenn man die Ausströmungsspitze durch eine Weingeistlampe bis zum Glühen erhitzt und gleich nach dem Entfernen der Lampe die Elektrisirmaschine in Thätigkeit setzt, so hören die erwähnten Erscheinungen auf: d. h. der elektrische Geruch wird nicht mehr wahrgenommen, das der Ausströmungsspitze entgegengehaltene Jodkaliumkleister wird nicht mehr gebläut. — Schönbein

hat das Ozon auch ohne alle Elektricität auf rein chemischem Wege dargestellt, indem er trockenen Phosphor in einer Flasche aufhing, die Luft und etwas Wasser enthielt. Der im Anfang entstehende Phosphorgeruch verschwindet bald und ein entschiedener Ozongeruch tritt an dessen Stelle. Wird eine solche mit ozonhaltigem Gase gefüllte Flasche durch einen doppelt durchbohrten Kork verschlossen, durch dessen eine Oeffnung eine oben in einen Trichter endigende Röhre bis beinahe auf den Boden der Flasche reicht, und durch dessen andere Oeffnung eine Röhre geht, welche über dem Kork horizontal eingebogen ist und in eine Spitze mit kleiner Oeffnung endigt: so wird das ozonhaltige Gas aus der Flasche durch die Spitze der Röhre herausgetrieben, wenn man in den Trichter Wasser in erforderlichem Maße einströmen läßt. Diese Spitze verhält sich nun vollkommen wie eine Metallspitze, aus welcher die Elektricität ausströmt. Man nimmt in der Nähe der Spitze einen elektrischen Geruch wahr; das ihr entgegengehaltene Papier mit Jodkaliumkleister wird gebläut. Hat man den horizontalen Theil der Ausströmungsspitze durch eine Weingeistlampe stark erhitzt, so hat das aus der feinen Oeffnung strömende Gas keinen Geruch mehr und hört auf das mit Jodkalium bestrichene Papier zu bläuen. — Nach vielfältigen Untersuchungen ist Schönbein zu der Ansicht gelangt, daß das Ozon nichts anders als gasförmiges Wasserstoffsuperoxyd sei. Das Ozon wäre demnach als eine höhere Oxydationsstufe des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes anzusehen. Daraus erklärlich, warum Wasserdampf zur Ozonbildung durchaus nothwendig ist; warum in vollkommen trockener Luft mittelst Phosphor kein Ozon sich darstellen läßt. Gleichwie der Phosphor die Verbindung des Wasserdampfes mit Sauerstoff bewirkt, so veranlaßt die Elektricität den Wasserdampf der Atmosphäre eine höhere Oxydationsstufe einzugehen und Ozon zu bilden.

### 3. Elektrophor und Condensator.

Der Elektrophor besteht aus einem runden in eine flache leitende Schüssel gegossenen Harzkuchen und einem etwas kleineren Deckel, welcher mittelst seidener Schnüre isolirt werden kann. Die Schüssel oder Form macht man aus Eisenblech oder aus Holz, das man mit Stanniol überzieht. Den Harzkuchen bereitet man, indem man 10 Theile Gummilack, 3 Theile Harz, 2 Theile venetianischen Terpentin und 2 Theile Wachs zusammenschmilzt, dann im flüssigen Zustande in die Form gießt und die Oberfläche mittelst einer heißen Eisenplatte glatt macht. Ein dünner Kuchen ist vortheilhafter als ein dicker. Der Deckel kann aus einem Holzringe bestehen, der mit Leinwand bespannt ist; beide müssen dann mit Stanniol bekleidet sein. — Wird der Harzkuchen mit Pelzwerk gerieben, so wird er negativ elektrisch; setzt man nun den Deckel darauf, so zeigt er freie negative Elek-

tricität in Folge der elektrischen Vertheilung. — Legt man den Deckel auf den Kuchen und hebt ihn wieder auf, ohne ihn berührt zu haben, so gibt er keine Spur von Elektricität. — Berührt man den Deckel, während er auf dem Kuchen liegt, mit dem Finger, so zeigt der aufgehobene Deckel freie positive Elektricität, welche vorher durch den Einfluß des Kuchens gebunden war. — Berührt man nach Auflegen des Deckels mit einem Finger die Form, mit einem andern den Deckel; so erhält man einen kleinen Schlag, weil sich die negative Elektricität mit der gleichzeitig an der Form ausgeschiedenen positiven vereiniget: der dann aufgehobene Deckel zeigt positive Elektricität. — Der Kuchen behält lange Zeit seine Elektricität bei, wenn nur der Deckel auf demselben liegen bleibt, weßhalb die Benennung Elektricitätsträger oder Elektrophor gerechtfertigt ist. — Es ließe sich auch ein Elektrophor mittelst einer auf der Rückseite mit Stanniol belegten Glasplatte verfertigen, indem man dieselbe durch Reiben mit Wolle positiv elektrisch machte: ein solches Elektrophor hält jedoch die Elektricität nicht lange.

Der Elektrophor hat bei der Hydrogengaszündmaschine Anwendung gefunden. In einem Kasten von Holz liegt der Harzkuchen, an welchem mittelst eines Charniers eine Metallplatte befestigt ist, welche sich mit Elektricität ladet, wenn der Harzkuchen mit Pelzwerk gerieben worden. Auf der Decke des Kastens steht ein Glasgefäß, in welchem Wasserstoffgas entwickelt wird. Beim Oeffnen des Hahnes besagten Gefäßes strömt durch hydrostatischen Druck das Gas zwischen zwei Metallspitzen hindurch, deren eine mit der Metalleinfassung der oberen Oeffnung des Gefäßes verbunden ist und deren andere mit dem unteren Theile desselben in leitender Verbindung steht. Zugleich wird mittelst eines kleinen Hebels und des daran befestigten Seidenfadens die Metallplatte des Harzkuchens gehoben, welche dem mit der zweiten Spitze in Verbindung stehenden Metalldrahte ihre Elektricität mittheilt. Auf solche Weise springt denn beim Hindurchströmen des Gases zwischen den beiden Spitzen gleichzeitig ein elektrischer Funken über und entzündet das Gas. Die Flamme bestreicht den Docht des davor gesetzten Lichtes und zündet denselben an. Die dem Harzkuchen durch einmaliges Reiben mit Pelzwerk mitgetheilte Elektricität kann derselbe Monate lang behalten.

Der Condensator, ein von Volta erfundenes Instrument, dient zur Entdeckung schwacher Grade elektrischer Spannung, die mittelst eines gewöhnlichen Elektroskops nicht mehr bemerkt werden können. Er besteht in seiner besten Einrichtung aus zwei gleichen wohl abgeschliffenen runden Metallplatten, deren untere auf einem isolirten Fuße ruht und deren obere mit einem isolirenden Handgriffe versehen ist; die einander zugewendeten

Flächen der Metallplatten sind mit einer dünnen Firnißschichte überzogen. Die Unterplatte gibt zugleich die Zuleitungsplatte eines empfindlichen Elektroskops ab. — Bei dem Gebrauche des Instrumentes setzt man die beiden Platten aufeinander, berührt die Oberplatte mit dem Finger und bringt die Unterplatte mit dem auf seine Elektricität zu prüfenden Körper in leitende Verbindung; nach kurzer Dauer der Berührung entfernt man den Körper und hebt die Oberplatte ab: das Elektroskop zeigt die gleichnamige Elektricität des Körpers an. — Man kann auch die Oberplatte mit dem zu untersuchenden Körper in Verbindung setzen und die Unterplatte mit dem Finger berühren: nach dem Abheben der Oberplatte gibt dann das Elektroskop die entgegengesetzte Elektricität von jener des Körpers zu erkennen.

Die mit dem elektrischen Körper in Berührung gebrachte Platte des Condensators empfängt durch Mittheilung Elektricität, welche eine Vertheilung der natürlichen Elektricität auf der anderen Platte nach sich zieht: die ungleichnamige Elektricität drängt sich nach der der erstern Platte zugewendeten Seite, während die gleichnamige in den Erdboden abgeleitet wird. Gedachte ungleichnamige Elektricität wirkt ihrerseits wieder auf die erste Platte, deren Rückseite dadurch eine neue Quantität Elektricität von dem in Rede stehenden Körper aufzunehmen vermag. So geschieht es denn, daß eine weitere Portion natürlicher Elektricität auf der zweiten Platte zersetzt wird, wobei wieder die mit jener des Körpers gleichnamige Elektricität in das allgemeine Reservoir abfließt, die ungleichnamige dagegen auf der der erstern Platte zugekehrten Seite sich anhäuft. Auf solche Weise ist es erklärlich, weßhalb die mit dem elektrischen Körper in Verbindung gesetzte Platte mehr Elektricität aufgenommen hat, als sie hätte aufnehmen können, wenn die Platte allein vorhanden gewesen wäre. Wenn der Körper entfernt wird und die beiden Platten von einander getrennt werden, tritt die auf der Zuleitungsplatte des Elektroskops angesammelte Elektricität in Freiheit und gibt ihre Spannung zu erkennen.

Man nennt condensirende Kraft des Apparates das Verhältniß der Totalladung, welche die erste Platte unter dem Einflusse der zweiten Platte empfängt, zu derjenigen Ladung, welche die erste Platte außer der Verbindung mit der zweiten Platte anzunehmen vermag. — Die condensirende Kraft hängt nothwendigerweise von der Beschaffenheit der die beiden Platten trennenden isolirenden Schichte ab. Dann muß die condensirende Kraft zunehmen, wenn die Entfernung der beiden Platten oder die Dicke der isolirenden Schichte abnimmt. Der Condensator wird sich also desto stärker laden lassen, je dünner jene Schichte ist. Doch wird man hier eine gewisse Grenze nicht überschreiten dürfen; denn bei einer zu geringen Dünne der isolirenden Schichte kann das Streben der beiden Elektricitäten nach

Vereinigung den von der Schichte dargebotenen Widerstand überwinden, in welchem Falle dann die Schichte gewaltsam durchbrochen wird. Endlich wird auch die condensirende Kraft mehr oder minder von der Flächenausdehnung der angewendeten Platten abhängig sein. Diese bei einigem Nachdenken sich ergebenden Resultate stimmen recht gut mit den Beobachtungen überein, welche Rieß mit seinem Plattencondensator gemacht hat.

Der Plattencondensator von Rieß besteht aus zwei runden Metallplatten A und B, welche von isolirenden oben mit Kugeln versehenen Säulen getragen werden. Diese Platten lassen sich parallel mit einander verschieben und beliebig nähern, indem man die Füße der Säulen in einer Spalte der Unterlage hin und her schiebt. Zwischen den beiden Metallplatten steht auf einem ähnlichen Fuße eine dünne Glasplatte. Hat man die Metallplatten in eine bestimmte Entfernung von der Glasplatte gestellt, so ladet man die Platte A durch den Conductor der Elektrisirmaschine, während die Platte B mit dem Erdboden in leitender Verbindung steht. Hierauf berührt man die Kugel der Platte A mit dem Probescheibchen und bestimmt die Spannung $\varphi$ der darauf vorhandenen Elektricität mittelst der Coulomb'schen Wage. Alsdann entfernt man schnell die Platte B und ermittelt abermals die Spannung $\varphi'$ der nunmehr auf der Kugel der Platte A befindlichen Elektricität. Letztere Spannung ist stärker als die vorhergehende, weil die auf A angesammelte Elektricität in Freiheit gesetzt worden. Das Verhältniß $\frac{\varphi'}{\varphi}$ wird demnach als Maß der condensirenden Kraft gelten können. Einige auf diese Weise von Rieß gefundenen Resultate sind in der untenstehenden Tabelle enthalten. Die erwähnten Versuche führen uns gleichzeitig zu noch einigen anderen Folgerungen: 1) Die condensirende Kraft nimmt mit der Flächenausdehnung der angewendeten Platten zu. 2) Die condensirende Kraft ändert sich nicht merklich mit der Menge der angehäuften Elektricität. 3) Die condensirende Kraft ist größer wenn der Ableitungsdraht parallel zu der Condensatorplatte ist, als wenn er auf derselben senkrecht steht. 4) Die condensirende Kraft ist nicht an allen Theilen des Apparates einerlei, schwächer an den Rändern als gegen die Mitte hin.

Werth der condensirenden Kraft.

| Abstand der Platten in Millimetern. | Auf einer Kugel mit einem Durchmesser von 16 Millim. | Auf einer Kugel mit einem Durchmesser von 10 Millim. | Durchmesser der Platten. 184 Mill. | Durchmesser der Platten. 117 Mill. | Ableitender Faden normal. | Ableitender Faden parallel. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 11,3 | 2,985 | 3,268 | 3,268 | 2,257 | 2,257 | 2,451 |
| 9 | 3,496 | 3,649 | 3,649 | 2,544 | 2,544 | 2,941 |
| 6,8 | 4,255 | 4,566 | 4,566 | 3,030 | 3,030 | 3,717 |
| 4,5 | 5,780 | 6,451 | 6,451 | 4,310 | 4,310 | 5,269 |

Es ist nicht gut möglich einen einfachen und allgemeinen Ausdruck für die condensirende Kraft aufzustellen, da dieselbe von so verschiedenartigen Umständen abhängt. Eine genäherte Formel für die condensirende Kraft läßt sich unter der Voraussetzung, daß die Dichten der elektrischen Schichten auf den beiden einander zugekehrten Seiten der Condensatorplatten gleichförmig seien und solches auch bei der auf der Rückseite von A vorhandenen Elektricität stattfinde, durch folgende Betrachtung erhalten. Es sei a die Menge der auf der Platte A angesammelten positiven Elektricität, — b die Menge der auf der Platte B verbreiteten negativen Elektricität: es ist dann $-b = ma$, wo m einen ächten Bruch darstellt, dessen Werth wächst, wenn der Abstand der Condensatorplatten abnimmt. Isolirt man jetzt die Platte B und berührt dagegen die Platte A, so wird alle freie Elektricität auf der Rückseite der letzteren abgeleitet und zugleich ein Antheil der auf ihrer Vorderseite befindlichen Elektricität. Dieser Antheil a' kommt derjenigen Elektricität gleich, mit welcher sich die Platte A ladet, wenn sie außer Verbindung mit der Platte B für sich allein mit dem Conductor der Maschine in Communication gesetzt wird. Die freie Elektricität der Platte B bindet nun die Elektricität auf der Vorderseite der Platte A, so daß die Relation $a - a' = -mb$ besteht. Dieselbe verwandelt sich, wenn statt b dessen Werth eingeführt wird, in: $a - a' = m^2 a$. Hieraus entspringt für die condensirende Kraft des Apparates der Ausdruck:

$$\frac{a}{a'} = \frac{1}{1 - m^2}.$$

Werden die beiden Condensatorplatten abwechselnd mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt, so wird bei jeder Berührung ein gewisser Theil ihrer Elektricität entzogen, dessen Größe auf Grundlage der oben angegebenen Formel sich bestimmen läßt. Die Platte A verliert bei der ersten Berührung die Menge Elektricität $a' = a(1 - m^2)$; und behält zurück die Menge $a - a' = m^2 a$. Die Platte B verliert bei der ersten Berührung die Menge $b' = b(1 - m^2) = -am(1 - m^2)$; und behält zurück die Menge $b - b^1 = m^2 b = -m^3 a$. Auf diese Weise fortgefahren erhält man für die successiven Rückstände und Verluste an Elektricität der beiden Platten nach den aufeinanderfolgenden Berührungen nachstehende Ausdrücke:

| | Rückstände | | Verluste | |
|---|---|---|---|---|
| | auf A | auf B | auf A | auf B |
| nach der ersten Berührung | $+a$ | $-ma$ | $+(1-m^2)a$ | $-(1-m^2)ma$ |
| nach d. zweiten Berührung | $+m^2 a$ | $-m^3 a$ | $+(1-m^2)m^2 a$ | $-(1-m^2)m^3 a$ |
| nach d. dritten Berührung | $+m^4 a$ | $-m^5 a$ | $+(1-m^2)m^4 a$ | $-(1-m^2)m^5 a$ |
| nach d. vierten Berührung | $+m^6 a$ | $-m^7 a$ | $+(1-m^2)m^6 a$ | $-(1-m^2)m^7 a.$ |

Die Rückstände werden immer kleiner und verschwinden endlich gänzlich, so daß die beiden Platten in den neutralen Zustand zurückgekehrt sind. Außerdem beträgt die Summe sämmtlicher successiven Verluste für die erste Platte + a und für die zweite Platte — ma, wie es sein muß.

Der ursprüngliche von Volta angefertigte Condensator bestand aus einer Platte von Holz, deren Oberfläche mit Wachstaffet überzogen war, und einer mit einer isolirenden Handhabe versehenen Metallplatte. Der Wachstaffet vertrat die Stelle des isolirenden Mittels; die Holzplatte wurde mit dem Erdboden leitend verbunden, während die Metallplatte auf den Wachstaffetüberzug gestellt und mit dem Körper in Verbindung gesetzt wurde, dessen Elektricität ersichtlich gemacht werden sollte.

Man kann sich auch einfach einen Condensator dadurch verschaffen, daß man auf die Unterplatte kleine Glas- oder Siegellackstückchen legt und die Oberplatte darauf setzt. Die zwischen den Platten befindliche Luftschichte dient alsdann als isolirendes Mittel. Dieses Instrument und das vorhergehende leiten aber weit weniger, als die Apparate von der oben angegebenen Einrichtung. Sämmtliche Condensatoren wirken doch auf einerlei Weise, indem die auf der Zuleitungsplatte verbreitete Elektricität durch Vertheilung durch das isolirende Mittel das neutrale Fluidum auf der anderen Platte zersetzt und dadurch eine neue Menge von Elektricität aus der Elektricitätsquelle auf der Zuleitungsplatte sich ansammeln kann. Der Unterschied besteht nur in der Verschiedenheit der vertheilenden Wirkung, welche mit dem Inductionsvermögen des zwischen den Platten liegenden isolirenden Mittels sich ändert.

## 4. Franklin'sche Tafel und Leidener Flasche. — Auslader und Maßflasche.

Die Franklin'sche Tafel ist eine zu beiden Seiten mit Stanniol belegte Glastafel, so daß ringsum ein etwa zwei Finger breiter Rand an beiden Seiten frei bleibt. Um die Feuchtigkeit abzuhalten, überstreicht man öfters den Rand mit einer Auflösung von Siegellack in Weingeist. Die Franklin'sche Tafel ist nichts weiter als ein Condensator, mit dem einzigen Unterschiede, daß hier die beiden Metallplatten fest mit dem Glase verbunden sind und nicht beliebig entfernt oder genähert werden können. — Man bedient sich der Franklin'schen Tafel, um eine stärkere elektrische Spannung als die am Conductor der Maschine vorkommende zu erhalten. Zu diesem Behufe bringt man die eine Belegung, welche A heißen mag, mit dem Conductor in Verbindung, während die andere Belegung B mit dem Erdboden leitend verbunden ist. Beim Drehen der Maschine erhält A positive Elektricität, welche die natürliche Elektricität von B zersetzt; die

negative Elektricität verbreitet sich über die Belegung und die positive fließt in den Boden ab. — Man kann ein derartiges Abfließen von Elektricität von B beim Laden der Tafel deutlich zeigen, wenn man die Belegung B isolirt und ihr dann einen guten Leiter nähert; man sieht da Funken übergehen, wenn die Belegung A elektrisirt wird. — Die negative Elektricität von B wirkt vertheilend auf A, wodurch ein neuer Zufluß von positiver Elektricität des Conductors veranlaßt wird. Auf solche Weise häuft sich die positive Elektricität auf der Belegung A mehr und mehr an, bis sie zuletzt eine Spannung erreicht, welche jener der Maschine gleich kommt. Ist dieser Zustaud eingetreten, so wird beim fortgesetzten Drehen der Elektrisirmaschine die Ladung der Tafel nicht vermehrt.

Der Ueberschuß an Elektricität auf der Belegung A läßt sich dem Auge sichtbar machen, wenn man auf jeder Seite der Tafel mit etwas Wachs ein leichtes elektrisches Pendel befestigt. Auf der Belegung A wird das Pendel abgestoßen, während das Pendel auf der Belegung B gar keine Divergenz zeigt. Berührt man die Belegung A mit dem Finger, so fällt das Pendel, dagegen steigt das Pendel auf der Belegung B; durch Ableitung der überschüssigen positiven Elektricität auf der Belegung A wird ein Theil negativer Elektricität auf der Belegung B frei, welcher das Pendel zurückstößt. Durch abwechselndes Berühren der einen und der andern Belegung läßt sich so abwechselnd das eine und das andere Pendel zum Steigen bringen. — Durch ein solches abwechselndes Berühren der einen und der andern Belegung mit dem Finger wird der Apparat allmälig ganz entladen. — Die Entladung erfolgt auf einmal, wenn man die Belegungen der Tafel durch einen guten Leiter in Verbindung bringt: die auf den Belegungen angehäuften entgegengesetzten Elektricitäten gehen dann auf diesem Wege augenblicklich zu einander über. — Eine solche Entladung kann auch von selbst durch die Glastafel hindurch oder durch die Luft über den unbelegten Glasrand vor sich gehen, wobei ein Funken sichtbar wird: die beiden Elektricitäten an den Belegungen haben dann eine Spannung erlangt, bei welcher sie den Widerstand, der ihre Vereinigung hindert, zu überwinden vermögen.

Die **Leidner oder Kleistische Flasche** ist nur eine veränderte Form der Franklin'schen Tafel. Sie besteht aus einem Glasgefäße, dessen innere und äußere Oberfläche zu drei Viertheilen vom Boden an mit Stanniol belegt ist. Der Theil des Glases, welcher von Stanniol frei bleibt, wird mit Schellackfirniß überzogen, um die beiden Belegungen vollständiger zu isoliren. Die innere Belegung, für welche man auch Blattgold, Eisenfeile, Messingfeile, überhaupt jeden leitenden Körper nehmen kann, steht mit einem Messingstabe in Verbindung, der durch den Deckel des Gefäßes geht und

oben mit einem Knopf sich endigt. — Die Flasche wird geladen, wenn man den Knopf mit dem Conductor der Maschine in leitende Verbindung bringt und die äußere Belegung mit dem Erdboden leitend verbindet. Die beiden entgegengesetzten Elektricitäten häufen sich auf den Belegungen in der Weise an, wie dies oben angegeben worden.

Die successive Entladung läßt sich durch folgenden Versuch recht augenfällig machen. Auf einer isolirenden Unterlage steht neben der geladenen Flasche eine Säule von Metall, die durch einen Stanniolstreifen mit der äußeren Belegung der Flasche communicirt. Diese Säule und der mit der inneren Belegung der Flasche verbundene Messingstab tragen zwei Metallglöckchen, zwischen denen an einem Seidenfaden ein kleines Metallkügelchen herabhängt. Das Kügelchen oscillirt zwischen den beiden Glöckchen hin und her, wodurch die auf den beiden Belegungen angesammelten entgegengesetzten Elektricitäten nach und nach sich ausgleichen. — Wenn die Luft trocken und die Flasche etwas groß ist, können dergleichen Anziehungen und Abstoßungen mehrere Stunden lang anhalten.

In ähnlicher Weise kann man die allmälige Entladung auch wie folgt bewerkstelligen. Man setzt die geladene Flasche auf eine isolirende Unterlage und verbindet den nach der inneren Belegung gehenden Stab mit dem isolirten Elektroskop a und die äußere Belegung mit dem isolirten Elektroskop b. Anfänglich divergirt nur das Elektroskop a, während b vertical herabhängt. — Berührt man den Knopf der Flasche mit dem Finger, so sinkt das Pendel a in die verticale Lage zurück, dagegen zeigt das Pendel b eine Divergenz. Wird hierauf die äußere Belegung mit dem Finger berührt, so nimmt das Pendel b abermals die verticale Lage an und das Pendel a beginnt von Neuem zu divergiren. Indem man auf diese Weise die beiden Belegungen abwechselnd berührt, wird die Ladung nach und nach schwächer und verschwindet endlich ganz.

Um die Leidener Flasche mit Bequemlichkeit auf einmal zu entladen, bedient man sich des sogenannten Ausladers. Derselbe besteht aus einem gläsernen Handgriffe, an welchem zwei um ein Gelenk drehbare gebogene Metallstäbe befestigt sind, die an den Enden in Kugeln auslaufen. — Die Entladung wird bewerkstelligt, indem man den Auslader an dem gläsernen Handgriffe faßt, die eine seiner Kugeln an die äußere Belegung legt und die andere Kugel dem Kopfe der Flasche nähert. Ist die Annäherung soweit getrieben, daß die Spannungen der Ladungen beider Belege den Widerstand der Luft zu überwinden im Stande sind; so erfolgt eine rasche Vereinigung der beiden Elektricitäten, welche man den Entladungsschlag nennt. Diese augenblickliche Entladung ist von einem Knall und einem Funken begleitet, welche desto merklicher hervortreten, je stärker

die elektrische Spannung an den Belegungen ist. — Eine andere Art Auslader besteht aus zwei durch ein Charnier verbundenen gebogenen Messingstäben, deren jeder mit einer isolirenden Handhabe versehen ist. — Will man den Entladungsschlag durch irgend einen Körper gehen lassen, so bedient man sich dazu des Henley'schen Ausladers. Zwei isolirende Säulen tragen an ihrem oberen Ende um ein Gelenk drehbare Messingstäbe, die an einem Ende in eine Kugel, an dem andern in einen Ring auslaufen. Zwischen beiden Säulen steht eine dritte Säule mit einem höher oder tiefer stellbaren Tischchen, um den Körper zu tragen, durch welchen die Entladung erfolgen soll und den man zu diesem Behufe zwischen die beiden Kugeln bringt.

Wenn man eine Leidener Flasche entladen hat und sie dann nur kurze Zeit stehen läßt, so kann man eine zweite obgleich viel schwächere Entladung hervorbringen. Die Elektricität haftet nämlich nicht blos an den metallischen Belegungen der Flasche, sondern zum Theil auch an den Glasflächen. Nach der ersten Entladung theilt sich nach einiger Zeit die Elektricität an den Glasflächen den Belegen wieder mit und veranlaßt so den schwächern Entladungsschlag. Die zurückbleibende Elektricität wird gewöhnlich das Residuum genannt. — Daß die Sache sich wirklich so verhält, läßt sich an einer Flasche nachweisen, deren Belege weggenommen werden können. Nachdem man eine solche Flasche geladen und dann auf eine isolirende Unterlage gestellt hat, nehme man die innere Belegung heraus und entlade sie vollständig; hierauf hebe man das Glasgefäß aus der äußeren Belegung heraus und entlade auch diese vollkommen. Setzt man jetzt das Glas wieder in die äußere Belegung und die innere in das Glas, so gibt die Flasche eine Entladung, wenn man die beiden Belegungen durch den Auslader mit einander verbindet. Die an den Glasflächen anhaftende Elektricität hat sich also zum Theil den Belegungen wieder mitgetheilt.

Stellt man eine Reihe Leidener Flaschen so auf, daß sie alle isolirt sind mit Ausnahme der letzteren in der Weise, daß die innere Belegung der ersten Flasche mit dem Conductor der Maschine verbunden ist, die innere Belegung jeder folgenden mit der äußeren Belegung der vorhergehenden in Verbindung steht; so werden alle Flaschen in gleichem Sinne geladen, wenn man blos die erste ladet. Diese Flasche ist die einzige, welche ihre Elektricität von der Maschine empfängt, dagegen jede der übrigen Flaschen ihre innere Ladung von der äußeren Belegung der vorhergehenden erhält. Die Ladung der Flaschen wird um so schwächer, je weiter dieselben von der ersten abstehen: denn die auf der äußeren Belegung einer Flasche freiwerdende Elektricitätsmenge ist immer geringer als die auf der inneren Belegung angekommene. Diese Art der Ladung heißt gewöhnlich die Cascadenladung. — Man kann jede dieser Flaschen ein-

zeln entladen, aber sämmtliche auch auf einmal, wenn man die innere Belegung der ersten mit der äußeren Belegung der letzten in leitende Verbindung bringt.

Um eine bedeutende Menge von Elektricität zu erhalten, muß man sich großer Flaschen bedienen oder mehrere Leidener Flaschen zu einer sogenannten elektrischen Batterie vereinigen. Dies geschieht, wenn man alle äußeren Belegungen der Flaschen unter sich und ebenso alle ihre innern Belegungen unter sich leitend verbindet. Die Flaschen stehen deßhalb gemeinschaftlich in einem mit Stanniol ausgelegten Holzkasten, während die Knöpfe sämmtlicher Flaschen durch horizontale Metalldrähte mit einander verbunden sind. Aus dem Kasten ragt ein mit dem Stanniol in Verbindung stehender Metalldraht hervor, der sich in einer Kugel endigt. — Die Batterie wird geladen, wenn man diese Kugel mit dem Erdboden und den Knopf einer Flasche mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in Verbindung setzt. Ebenso wird bei der Entladung der Batterie verfahren, indem jene Kugel mit dem einen Arm des Ausladers und der Knopf einer Flasche mit dem andern Arm in Berührung kommt. An einem der Knöpfe bringt man einen Quadranteneletroskop an, um die Stärke der Ladung beurtheilen zu können.

Die Einrichtung, welche Lane der Leidener Flasche gegeben hat, leistet in mehreren Fällen gute Dienste. Die äußere Belegung einer solchen Flasche, welche auch Maßflasche genannt wird, steht durch einen Metallstreifen mit einer metallischen Säule in Verbindung. An dem oberen Ende der Säule befindet sich eine Hülse, in welcher ein an einem Ende mit einer Kugel versehenes horizontales Messingstäbchen hin- und hergeschoben werden kann, so daß die Kugel in jeder beliebigen Entfernung von dem Knopfe der Flasche sich feststellen läßt. Die an dem Stäbchen angebrachte Theilung gestattet diese Entfernung genau anzugeben. — Wird die Flasche wie gewöhnlich geladen, so entladet sie sich von selbst, wenn die elektrische Spannung auf denjenigen Grad angestiegen ist, in welchem sie die Luftschichte zwischen dem Knopfe und der Kugel zu durchbrechen im Stande ist. — Bei unveränderter Entfernung des Knopfes und der Kugel von einander wird eine derartige Selbstentladung jederzeit erfolgen, wenn die Ladung die nämliche Stärke erreicht hat. Fanden mithin bei fortgesetztem Drehen der Elektrisirmaschine n Selbstentladungen der Lane'schen Flasche statt, so ist zur inneren Belegung derselben n mal mehr Elektricität übergegangen als bei einer einzigen Entladung. — Wir können demnach als Einheit der elektrischen Ladung die Elektricitätsmenge annehmen, welche bei constanter Entfernung zwischen Knopf und Kugel die freiwillige Entladung der Maßflasche bewirkt.

Bei seinen Untersuchungen über die Quantität der auf einer Flasche oder Batterie angehäuften Elektricität setzte Rieß die Flasche oder Batterie auf einen durch Glasfüße isolirten Tisch, brachte die innere Belegung mit dem Conductor der Elektrisirmaschine, die äußere aber mit der inneren Belegung der Maßflasche in leitende Verbindung, während er die äußere Belegung dieser Flasche mit einer großen Metallfläche verband, um eine vollkommene Ableitung zu erzielen. — Rieß fand so für die Schlagweite d, d. h. für das Maximum der Entfernung, in welcher zwischen zwei Leitern noch ein Entladungsschlag statt hat, folgende Formel: $d = \frac{bq}{s}$. In derselben bezeichnet q die Elektricitätsmenge gemessen durch die Maßflasche, s die Summe der inneren Belegungen sämmtlicher Flaschen, b eine Constante oder die Schlagweite, welche der Einheit der Ladung bei der Einheit der Belegungsfläche entspricht. Es wäre also die Schlagweite der elektrischen Quantität direct und der Oberfläche umgekehrt proportional; oder mit anderen Worten die Schlagweite der Dichtigkeit der angehäuften Elektricität proportional. — Die Resultate von Rieß Versuchen bei dem Ueberspringen zwischen zwei Kugeln von 11,3 Millimeter sind in folgender Tabelle enthalten, wo q und s die oben angegebene Bedeutung haben.

| s | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| d | q | q | q | q |
| 1 | — | 3 | 3,5 | 4,3 |
| 2 | 3 | 5,5 | 7 | 8,5 |
| 3 | 4,6 | 8 | 10,1 | 12,5 |
| 4 | 6,4 | 10,3 | 13,5 | 16 |
| 5 | 7 | — | 16 | — |

Als Einheit für d ist die Größe von 3,4 Millimeter genommen. — Das über die Schlagweite aufgestellte Gesetz behält seine Gültigkeit, wenn der Funke zwischen zwei parallelen Metallscheiben oder zwischen einer Kugel und einer Scheibe überschlägt. Nur ist unter sonst gleichen Umständen die Schlagweite für eine Kugel und Scheibe größer als für zwei Kugeln und kleiner als für zwei Scheiben.

Rieß hat weiter gefunden, daß die Schlagweite einer Batterie unabhängig von der Beschaffenheit des Schließungsbogens ist, vorausgesetzt, daß die Flächen unverändert bleiben, zwischen denen die Entladung erfolgt. Bei den darüber angestellten Versuchen verband Rieß die eine der Kugeln, zwischen denen der Funke überschlug, mit der inneren Belegung der Batterie durch einen dicken Kupferdraht, die andere Kugel durch einen zweiten dicken Kupferdraht mit dem einen Arm des Henley'schen Ausladers, dessen anderer Arm mit der äußeren Belegung der Batterie in gut leitender Ver-

bindung stand. Zwischen den Armen des Ausladers werden der Reihe nach eingeschaltet: 1) Ein Kupferdraht von 9 Millimeter Länge und von 1,12 Millimeter Durchmesser. 2) Ein Platindraht von 276,1 Centimeter Länge und 0,11 Millimeter Durchmesser. 3) Eine Wassersäule von 29,8 Centimeter Länge und von 1 Centimeter Durchmesser. Die Resultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt, wo q, d, s die frühere Bedeutung haben.

| | Einschaltung im Schließungsbogen. | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Kupferdraht. | | Platindraht. | Wassersäule. |
| s | d | q | q | q |
| 3 | 1 | 6 | 6 | 6 |
| | 2 | 10,2 | 10,5 | 10,5 |
| 4 | 1 | 8 | 8 | 8 |
| | 2 | 19,5 | 14 | 14 |
| 5 | 1 | 10 | 10 | 11 |
| | 2 | 18 | 19 | 19 |

Die Schlagweite ändert sich nicht mit der Natur des Schließungsbogens, dagegen ist diese von bedeutendem Einfluß auf die Beschaffenheit des Funkens. Bei einerlei Ladung war der Funke mit Anwendung des Kupferdrahtes 3,4 Millimeter lang, von starkem Glanz mit einem schmetternden Knalle; mit Anwendung des Platindrahtes hatte der Funke die nämliche Länge mit schwachem Lichte und dumpfem Schalle; mit Anwendung der Wassersäule war er kaum merklich.

Rieß hat ferner gefunden, daß bei der Entladung in der Schlagweite ein Theil der angesammelten Elektricität verschwindet, welcher von der Beschaffenheit des metallischen Schließungsbogens unabhängig ist. Denn sowohl bei dem Kupferdrahte als dem Platindrahte müßte die Schlagweite auf $\frac{2}{13}$ der ursprünglichen reducirt werden, um das Residuum durch eine zweite Entladung zu entfernen. Es läßt sich hiernach annehmen, daß mit metallischer Schließung bei der Entladung in der Schlagweite $\frac{11}{13}$ der Totalentladung verschwindet. — Dagegen verliert die Batterie nur $\frac{5}{8}$ und behält $\frac{3}{8}$ ihrer Ladung zurück, wenn die Wassersäule den Schließungsbogen abgibt. — Bei metallischer Schließung wird die Entladung wegen des guten Leitungsvermögens der Metalle befördert, solche aber bei der Wassersäule gehindert, weil Wasser im Vergleich zu den Metallen ein geringeres Leitungsvermögen besitzt. Die Entladung kann daher bei metallischer Schließung vollständiger vor sich gehen als bei einer Einschaltung mit Wasser: es muß deßhalb das Residuum in dem letzteren Falle bedeutender als in dem ersteren ausfallen.

## IV. Von der elektrischen Entladung.

### 1. Mechanische Wirkungen. — Lichtenbergische Figuren.

Die Wirkungen, welche die Entladung der Leidener Flasche hervorbringt, stimmen im Wesentlichen mit den Wirkungen überein, welche die einfache Entladung des Conductors der Elektrisirmaschine darbietet. Die Einen wie die Andern hängen von der Natur der eingeschalteten festen, flüssigen oder gasförmigen Mittel ab und sind nur dem Grade nach von einander unterschieden. Man kann diese Wirkungen in mechanische, Wärme-, Licht-, physiologische, chemische und magnetische Wirkungen abtheilen. Hier soll vor der Hand nur von den vier Ersteren die Rede sein, uns vorbehaltend auf die beiden Anderen späterhin an geeignetem Orte zurückzukommen. — Man unterscheidet auch zwischen stetig fortschreitender und stoßweise fortschreitender, elektrischer Entladung. Die erstere erfolgt durch gute Leiter; sie bewirkt eine Erhöhung der Temperatur, aber keinen Funken und keine Trennung der Körpertheilchen. Die Zweite geht durch unvollkommene Leiter von statten; sie erzeugt Lichterscheinungen, Geräusch, Ortsveränderungen, mechanische Trennungen.

In den Gasen bringt der Entladungsschlag eine starke und plötzliche Ausdehnung hervor, wie folgende zwei Versuche zeigen. Man fülle den unteren Theil einer starken Glasröhre, die mit einer seitlich angebrachten Röhre communicirt und an beiden Enden mit Metallfassungen verschlossen ist, durch welche in eine Kugel auslaufende Messingstäbe gehen, mit farbigem Wasser, so daß die beiden einander gegenüberstehenden Kugeln sich oberhalb der Flüssigkeit in dem mit Luft erfüllten Raume befinden. In dem Augenblicke, wo der Funke der Leidener Flasche zwischen den beiden Kugeln überschlägt, steigt das Wasser in der engeren Röhre in die Höhe, sinkt aber fast unmittelbar darauf auf sein früheres Niveau zurück, zum Beweis, daß das Aufsteigen der Flüssigkeit vorzugsweise in Folge der Ausdehnung der Luft vor sich geht. — Man leite den Entladungsschlag der Leidener Flasche mittelst zweier etwas von einander abstehender Drähte durch die Aushöhlung eines kleinen Mörsers, dessen Oeffnung man mit einem gut einpassenden Korkstöpsel verschlossen hat. Die Entladung zwischen den beiden Drähten dehnt die Luft innerlich plötzlich so stark aus, daß der Korkstöpsel hinweggeschleudert wird.

Soll der Funke unter einer Flüssigkeit überschlagen, so nimmt man am besten eine Glasröhre, füllt sie damit und verschließt die Röhre an ihren Enden mit Korkstöpseln. Durch die Korke steckt man zwei in Kugeln endigende Metalldrähte, die sich bis auf einen kleinen Abstand in der Röhre nähern. Beim Ueberschlagen des Funkens wird das Wasser so heftig erschüttert, daß die Glasröhre zersprengt wird, weßhalb der Ver-

such Vorsicht erfordert. Noch leichter gelingt der Versuch im Oel. — Selbst zerschmettert wird eine solide Glaskugel von 5 Centimeter Durchmesser, in welcher ein Wassertropfen eingeschlossen ist, wenn die Entladung ihren Weg durch denselben nimmt. Diese auseinandertreibende Wirkung der Elektricität läßt sich bleibend darstellen, wenn man ein Stück weichen Pfeifenthon als einen Cylinder zusammenrollt und dann mittelst zweier in die Enden eingesteckter Metalldrähte einen Entladungsschlag durch den Thon gehen läßt. An der Stelle, wo der Funke übergesprungen ist, wird sich der Thon dergestalt ausgedehnt haben, daß er eine eiförmige Gestalt erhält.

Feste Körper, wie Kartenblätter, Holz, Stanniolstreifen, Glas u. s. w. werden von Batteriefunken durchbohrt. Man bringe ein Kartenblatt zwischen die beiden Spitzen des Henley'schen Ausladers dergestalt, daß diese Spitzen das eingeschobene Blatt berühren. Der Funke durchbohrt das Kartenblatt, so daß auf beiden Seiten der Karte das Loch von einem nach außen aufgeworfenen Rand umgeben ist. — Um eine Glasplatte zu durchbohren, legt man sie horizontal auf einen kurzen Glascylinder zwischen zwei metallische Spitzen, welche die Platte in genau einander gegenüberliegenden Punkten berühren. Um den Funken zu verhindern um das Glas herumzuschlagen, ist es gut die obere Spitze mit einem Tropfen Terpentinöl zu befeuchten. Verbindet man die untere Spitze mit der äußeren Belegung einer starken Leidener Flasche und nähert den Knopf der Flasche der oberen Spitze, so erfolgt mit der Entladung die Durchbohrung der Glasplatte, wobei das Glas gewöhnlich zerbrochen wird.

Durch Elektricität kann man auf der Oberfläche verschiedener Körper Figuren hervorbringen, die man nach ihrem Entdecker **Lichtenbergische Figuren** nennt. Man erhält diese Figuren am leichtesten, wenn man eine Kupferplatte auf einer Seite mit Pech überzieht, dann die Metallfläche durch einen Draht ableitend berührt und auf die Pechfläche eine isolirte Metallspitze aufsetzt. Wird diese am oberen Ende mit dem Knopfe einer positiv geladenen Flasche in Verbindung gebracht, hierauf isolirt entfernt und die elektrisch gewordene Stelle mit fein gepulvertem Colophonium bestreut; so bildet der Staub eine strahlenförmige Figur. — Geschieht die Berührung des oberen Theils der Metallspitze mit einer negativ geladenen Flasche, so entsteht eine strahlenlose Figur, welche mit fein zerriebenem Mennig am besten ausfällt. — Dieser charakteristische Unterschied beider Elektricitäten zeigt sich schon an der Wirkung eines einzelnen Funkens auf die Harzfläche. — Noch mannigfaltiger gestalten sich diese Versuche, wenn man Colophoniumpulver mit feinem Mennig vermischt auf den theils mit positiver theils mit negativer Elektricität geladenen Harzkuchen siebt. Er-

steres wird durch Reibung negativ, letzterer positiv elektrisch. Daher erscheinen auf dem Harzkuchen die positiven Figuren gelb, die negativen roth.

Dergleichen Bilder lassen sich auch durch Anhauchen sichtbar machen; sie heißen dann elektrische Hauchbilder. Man lege eine Münze auf eine Pechplatte und lasse dann viele Funken aus dem Conductor der Elektrisirmaschine auf die Münze schlagen, entferne hierauf die Münze. Beim Behauchen kommt das Bild der Münze zum Vorschein. — Aehnliche Bilder erhät man ebenfalls auf polirten Metallplatten; doch ist es da nöthig zwischen der Münze und der Metallplatte eine Platte von Glimmer einzuschalten. — Die Politur des Metalls hat auf das Gelingen der Bilder einen geringen Einfluß, einen größeren aber die Beschaffenheit der Glimmerplatte. — Bei Einschaltung einer Glimmerplatte zwischen einer Pechfläche und der Münze ergibt sich kein vollständiges Hauchbild. Vollkommene Bilder entstehen nur, wenn eine der einander berührenden Platten leitend ist. Die Entstehung der Hauchbilder wie die der Staubfiguren rührt im Allgemeinen von einer Veränderung her, welche die Elektricität bei der Entladung auf der Oberfläche der Körper hervorbringt.

Geht die Vereinigung der beiden Elektricitäten in einer elastischen Flüssigkeit vor sich, so gerathen leichte Körper in der Nähe des elektrischen Funkens in Bewegung. Um dies nachzuweisen, lasse man den Entladungsfunken einer stark geladenen Leidener Flasche zwischen den beiden Spitzen des Henley'schen Ausladers in einiger Höhe über eine Glasplatte überschlagen, die mit fein gepulverter Kreide bestreut ist. Nach einigen Entladungen zeigen sich äußerst zarte Linien in dem Kreidepulver auf beiden Seiten der Spitzen. — Andere Entfernungen der Spitzen von der Glasplatte geben die Linien in anderer Ausdehnung; in einem gewissen Abstande davon zeigen sich diese Linien nicht mehr. — Die Linien bieten dieselben Eigenthümlichkeiten dar in verschiedenen Pulvern und auf verschiedenen Unterlagen wie Holz, Glas, Metall, Marmor; nur muß die Entladung zur Erzeugung der Erscheinung desto stärker sein, je dichter das angewandte Pulver ist. — Die Linien bilden sich auch im Wasserstoffgas und in Kohlensäure; doch bedarf es zum Auftreten der Erscheinung in dem ersten Gase einer größeren Anzahl von Entladungen als in dem letzteren. In verdünnter Luft zeigen sich die Linien geichfalls; doch erscheinen sie bei Anwendung von Kreidepulver nicht mehr, wenn der Luftdruck unter 6 Millimeter ist.

Das Phänomen scheint von einer Bewegung herzurühren, welche die elektrische Explosion in der Gasmasse erzeugt. Denn man erhält Linien von demselben Aussehen, wenn man auf einer bepulverten Marmorplatte mittelst Seifenwasser Blasen eines verpuffenden Gemenges von Sauerstoff und Wasserstoff hervorbringt und die Blasen entzündet. — Die Linien

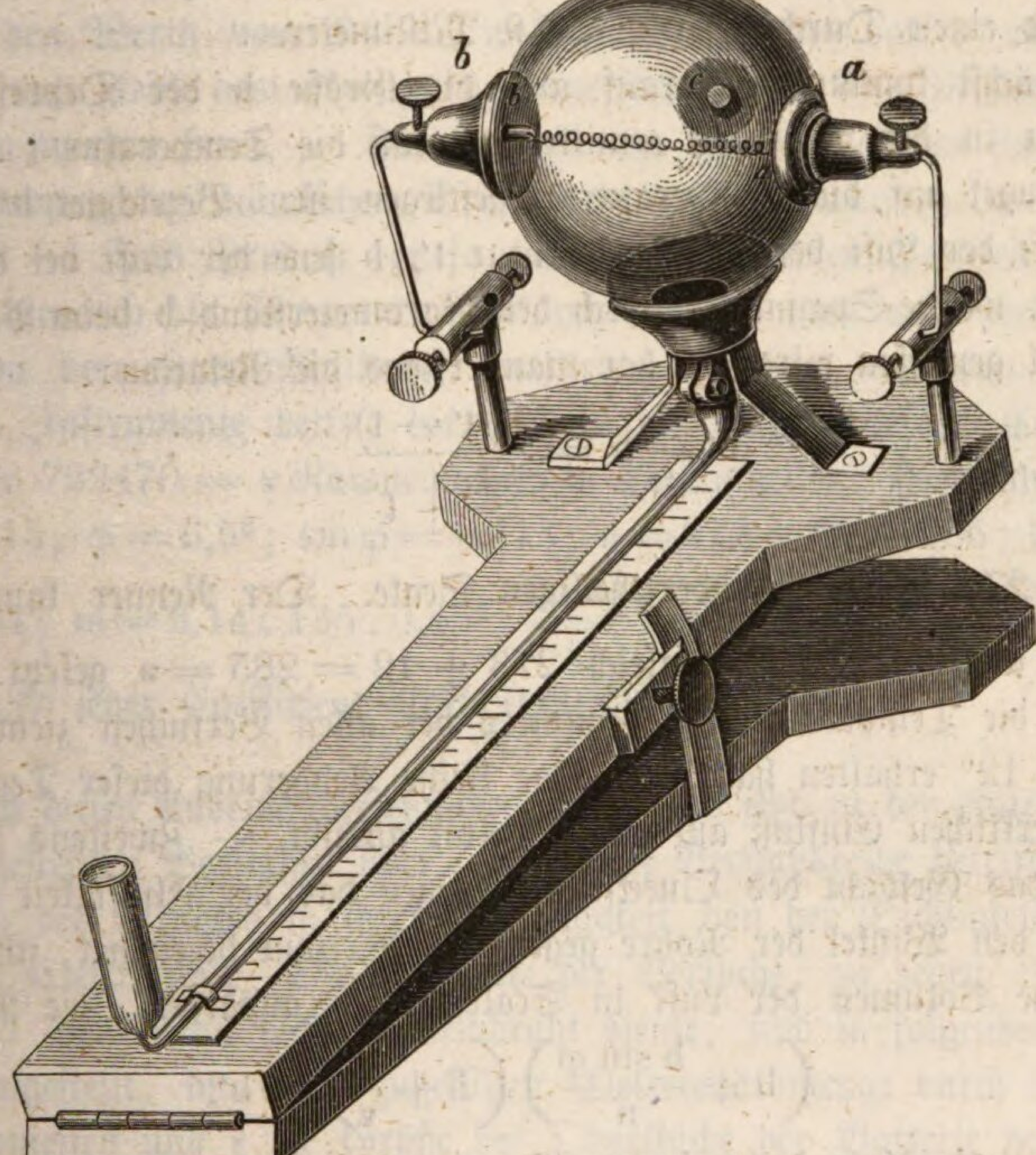
erstrecken sich desto weiter, je beträchtlicher das Volumen der Blasen ist; ihre Zwischenräume verringern sich auch ein wenig in dem Maße als sie weiter von dem Orte der Explosion abliegen. — Im Uebrigen muß die Platte einen gewissen Widerstand leisten, wenn die Linien sich bilden sollen. Denn streut man z. B. das Pulver auf Strohpapier, welches über einen Holzrahmen gespannt ist; so zeigen sich die Linien blos auf dem Theil des Papiers, welcher auf dem Holze ruht. Desgleichen erscheinen die Linien auf straff ausgespannter Seide nur sehr verworren, und gar nicht, wenn diese Spannung aufhört. — Die zu Tag tretende Biegungsbewegung in der Membrane verhindert das Pulver so liegen zu bleiben, wie es bei einer widerstehenden Platte geschieht. Der Einfluß, welchen die Zurückwerfung an der Oberfläche begegnender Körper auf die Bewegung der Lufttheilchen äußert, läßt sich darthun, wenn man auf die Platte Körper von der einen oder der andern Form stellt. Man findet dann, daß in der Nähe der Oberfläche dergleichen Körper die Anordnung des Pulvers abgeändert wird.

## 2. Wärmewirkungen. — Elektrisches Leitungsvermögen und elektrisches Erwärmungsvermögen der Metalle.

Brennbare Flüssigkeiten, wie Alkohol oder Aether, auf Baumwolle gestreutes Colophonium lassen sich sicherer entzünden durch den Flaschenfunken als durch den directen Funken von dem Conductor der Maschine. — Um Schießpulver zu entzünden, schüttet man das Pulver in eine kleine Büchse von Buchsbaum, in welche seitwärts zwei Drähte eingeschraubt sind, die in dem Schießpulver ein wenig von einander abstehen. In den Entladungskreis wird an einer beliebigen Stelle eine feuchte Schnur eingeschaltet, durch welche die Elektricität verzögert wird und hinlängliche Zeit gewinnt um beim Hindurchgehen durch das Schießpulver ihre erhitzende Wirkung darauf zu äußern. Denn erfolgt der Schlag durch blos metallene Leiter, so wird das Schießpulver nicht entzündet sondern blos herumgestreut. — Das Schießpulver läßt sich auch dadurch entzünden, wenn man es an der Stelle, an welcher der Funke überschlägt, mit einer leicht entzündlichen Substanz mischt. Ein Gemisch von Chlorsaurem Kali und Schwefelantimon zu gleichen Theilen, genommen kann dazu dienen. — Bemerkenswerth sind die Wirkungen, welche die Entladung Leidener Flaschen auf Metalldrähte äußert. Sie erfahren eine Temperaturerhöhung, welche um so großer ist, je stärker die Ladung der Flasche war, je kürzer und dünner die Drähte sind. Bei hinreichender Stärke kommen solche Kräfte ins Glühen, konnen je nach Beschaffenheit ihrer Materie und ihrer Dünne selbst schmelzen, ja zu Rauch zerstieben.

Um die Gesetze der Erwärmung durch den Entladungsschlag zu ermitteln, bediente sich Rieß des in Figur 11 abgebildeten elektrischen

Fig. 11.




Luftthermometers. Die Glaskugel hat 81 Millimeter im Durchmesser und ist an drei Stellen durchbohrt. Die beiden Oeffnungen a und b stehen einander diametral gegenüber und sind mit durchbohrten Metallfassungen versehen; an der dritten ist ebenfalls eine Metallfassung angebracht, deren Oeffnung durch einen Stöpsel verschlossen ist, durch dessen Hinwegnahme vor dem Versuche die Luft im Inneren der Kugel mit der äußeren ins Gleichgewicht gesetzt werden kann. An die Kugel ist eine Glasröhre von ohngefähr 1,5 Millimeter Weite angeschmolzen, welche mit einem aufwärts gebogenen weiteren Gefäße endigt und auf einem Brette befestigt ist, auf dem eine in Millimeter getheilte Scale sich befindet. Die Neigung der Röhre läßt sich beliebig verändern und dadurch die Empfindlichkeit des Instrumentes nach Belieben erhöhen. Rieß gebrauchte meistens eine Neigung von etwa $6^1/_2{}^0$ gegen den Horizont. — Gießt man in das weitere Gefäß eine gefärbte Flüssigkeit, so wird sie bis zu einer gewissen Stelle in die Röhre hineinragen. Geht nun ein Entladungsschlag durch den zwischen den Oeffnungen a und b ausgespannten Platindraht, so wird

derselbe und damit die Luft in der Kugel erwärmt, wodurch die Flüssigkeit in der Röhre um so weiter niedergedrückt wird, je bedeutender die Erwärmung ist. — Der in der Kugel spiralförmig gewundene Platindraht hatte bei den Rieß'schen Versuchen meistens eine Länge von 135 Millimeter und einen Durchmesser von 0,9 Millimeter.

Zunächst kommt es darauf an, die Größe h der Depression der Flüssigkeit in der Röhre zu ermitteln, wenn die Temperatur t der Luft in der Kugel auf die Temperatur t′ gestiegen ist. Bezeichnet b′ die Expansivkraft der Luft bei der Temperatur t′, b jene der Luft bei der Temperatur t, welche Spannkraft durch den Barometerstand b beim Verschlusse der Kugel gemessen wird, so hat man erstens die Relation:

$$b' - b = \frac{b\,(t' - t)}{\frac{1}{\alpha} + t}$$

wo $\frac{1}{\alpha} = 273$ bei der hunderttheiligen Scale. Der Nenner kann unveränderlich angenommen und gleich $273 + 12 = 285 = a$ gesetzt werden, da Rieß die Temperatur des Zimmers bei allen Versuchen ziemlich constant auf 12° erhalten hatte und eine kleine Aenderung dieser Temperatur keinen merklichen Einfluß auf das Resultat ausübt. — Zweitens hat man, wenn n das Gewicht des Quecksilbers gegen das der Flüssigkeit darstellt, ferner $\varphi$ den Winkel der Röhre gegen den Horizont bezeichnet, und v das anfängliche Volumen der Luft in Scalentheilen ausdrückt, die Relation:

$$\left(b + \frac{h \sin \varphi}{n}\right)\left(1 + \frac{h}{v}\right) = b'.$$

Aus der Verbindung dieser beiden Relationen entspringt:

$$h^2 + \left(v + \frac{n\,b}{\sin \varphi}\right) h = \frac{n}{\sin \varphi}\, b\, v \left(\frac{t' - t}{a}\right).$$

Dieselbe liefert, weil v sehr groß ist, für alle Werthe von t′ — t, welche bei dem Versuche vorkommen können, folgenden einfachen Ausdruck:

$$h = \frac{v\,b}{a\left(\frac{v \sin \varphi}{n} + b\right)} \cdot (t' - t).$$

Um die Temperaturerhöhung t′ — t der Luft in der Kugel von der Temperaturerhöhung T — t des Drahtes abhängig darzustellen, sei m die Masse und c die specifische Wärme des Drahtes; m′ die Masse und c′ die specifische Wärme der Luft. Alsdann ist $(T - t')\, m\, c = m' c' (t' - t)$, oder $T - t = (t' - t) \cdot \left(\frac{m' c' + m\, c}{m\, c}\right)$. Die Elimination von t′ — t mittelst der Relation $t' - t = \frac{h\, a\left(\frac{v}{n} \sin \varphi + b\right)}{b\, v}$ führt auf den Ausdruck:

$$T - t = \frac{a\left(\frac{v \sin \varphi}{n} + b\right)}{v b} \left(\frac{m' c'}{m c} + 1\right) h.$$

Mittlere Schwankungen des Barometers haben keinen merklichen Einfluß auf den Werth von $T - t$, weßhalb der Werth von $b$ als unveränderlich und gleich dem Normalbarometerstande von 760 Millimeter angenommen werden kann. — Die Depressionen der Flüssigkeiten sind mithin bei Anwendung des nämlichen Drahtes den Temperaturerhöhungen proportional. — Das Produkt der so constant betrachteten Coefficienten von $h$ drückt hiernach die Temperaturerhöhung des Drahtes aus, welche einer Depression von einem Millimeter entspricht. — Bei dem von Rieß gebrauchten Instrumente betrug der Inhalt der Kugel 468245 Cubikmillimeter oder $722470 = v$ Raumeinheiten in Scalentheilen: Hiernach stellt sich für $n = 15$; $\varphi = 6{,}5^0$; $\sin\varphi = 0{,}113$; $a = 273 + 12 = 285$; $b = 760$; $c = 0{,}031$; $m = 3{,}14 \,.\, 135 \,.\, 0{,}45^2 \,.\, \frac{0{,}021}{g}$; $m' = 468245 \,.\, \frac{0{,}00000114}{g}$; $c' = 0{,}237$ jener Coefficient gleich 0,00105 heraus.

Nach diesen Auseinandersetzungen gehen wir jetzt zu den einzelnen von Rieß angestellten Versuchen über. Die erste Versuchsreihe betrifft die Erwärmung des Drahtes in ihrer Abhängigkeit von der Dichtigkeit der angehäuften Elektricität. Die Resultate der Versuche, zu denen ein ohngefähr 2,25 Millimeter dicker Platindraht diente, sind in folgender Tabelle zusammengestellt, wo $q$ die zugeführte Elektricitätsmenge durch die Maßflasche gemessen und $s$ die Größe der Oberfläche der Batterie bezeichnet.

| s | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| q | h | h | h | h | h |
| 2 | 3,375 | | | | |
| 3 | 10,75 | 6,75 | 4,75 | 3,375 | |
| 4 | 15,25 | 10,25 | 7,25 | 6,75 | 6,0 |
| 5 | 21,0 | 16 | 11,75 | 10,25 | 8,75 |
| 6 | 30,25 | 22 | 16,5 | 14,75 | 12,5 |
| 7 | | 34 | 24,8 | 20,0 | 16,5 |
| 8 | | 39,5 | 31,75 | 25,5 | 21,0 |
| 9 | | | 40,5 | 32,25 | 26,5 |
| 10 | | | | 38,0 | 32,5. |

Aus der vergleichenden Zusammenstellung der in der Tabelle enthaltenen Zahlen ergibt sich, daß der Werth von $h$ durch die Formel $h = \alpha \frac{q^2}{s}$ genügend dargestellt wird, wo $\alpha$ eine Constante hier gleich 2 ist und die Depression der Flüssigkeit in der Röhre bezeichnet, welche der

Einheit der Ladung bei der Einheit der Belegungsfläche entspricht. — Die Erwärmung des Schließungsdrahtes durch die Entladung einer elektrischen Batterie ist folglich dem Quadrate der Elektricitätsmenge direkt, der Oberfläche der Batterie aber umgekehrt proportional.

Die zweite von Rieß unternommene Versuchsreihe bezieht sich auf die Erwärmung des Drahtes in ihrer Abhängigkeit von der Dicke desselben. Durch Einspannen verschiedener gleichlanger, aber ungleich dicker Platindrähte in die Kugel fand Rieß, daß der Coefficient $\alpha$ sich ändert. Für Drähte von dem Durchmesser 0,27; 0,176; 0,123; 0,1128 erhielt er den Werth von $\alpha$ beziehungsweise gleich 0,40; 1,01; 2,00; 2,30. — Durch vergleichende Zusammenstellung dieser Zahlen ergibt sich, daß bei gleicher elektrischer Ladung derselben Batterie die Depressionen der Flüssigkeit oder die Temperaturerhöhungen sich umgekehrt wie die Quadrate der Durchmesser der Drähte verhalten. Wir können also setzen die freigewordene Wärmemenge $w = \frac{k\,q^2}{r^2\,s}$, wo k einen constanten Factor darstellt. — Ein 2, 3 ... mal dickerer Draht hat aber bei gleicher Länge eine 4, 9 ... mal größere Masse; die Temperaturerhöhung $T - t$ wird sich daher bei derselben Wärmemenge w der Masse oder dem Quadrat des Halbmessers umgekehrt verhalten. Wir dürfen folglich wieder setzen: $T - t = \frac{k'\,w}{r^2}$, wo $k'$ ebenfalls einen constanten Factor bezeichnet. Durch Elimination von w aus den beiden vorhergehenden Relationen ergibt sich:

$$T - t = \frac{k\,k'}{r^4} \cdot \frac{q^2}{s} = \frac{\beta\,q^2}{r^4\,s},$$

d. h. die Temperaturerhöhung eines Drahtes ist unter übrigens gleichen Umständen der 4ten Potenz seines Halbmessers umgekehrt proportional. Doch gilt dieses Gesetz nur so lange als der Durchmesser der Drähte nicht über eine gewisse Grenze abgenommen hat. Bei einem Drahte von 0,05 Millimeter im Durchmesser findet es schon nicht mehr statt.

Eine dritte Versuchsreihe von Rieß hatte zum Zweck, den Einfluß der Länge des Drahtes auf seine Erwärmung zu ermitteln. Zu diesem Behufe wurde der Entladungsapparat mit dem einen, das Thermometer aber mit dem andern Arme des Henley'schen Ausladers verbunden. Das in den Schließungskreis eingeschaltete Stück Platindraht war in jeder Versuchsreihe von solcher Länge l, daß es mit der Länge l' des Drahtes im Thermometer zusammen 286 Millimeter maß. Die folgende Tabelle enthält die von Rieß gefundenen Resultate:

1) $l = 272{,}5^{\,mm}$; $l' = 13{,}5^{\,mm}$; $h = 3{,}04\,\frac{q^2}{s}$

| s | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|
| q | h | h | h |
| 3 | 10,75 | | |
| 4 | 16,5 | 12,25 | |
| 5 | 24 | 19,00 | 15,75 |
| 6 | 35,75 | 27,00 | 21,75 |
| 7 | | 36,00 | 28,75 |
| 8 | | | 36,75 |

II) $l = 211{,}5^{mm}$; $l' = 74{,}5^{mm}$; $h = 2{,}26 \cdot \frac{q^2}{s}$

| s | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|
| q | h | h | h |
| 4 | 13,25 | 13,5 | |
| 5 | 20,25 | 21,0 | 11,25 |
| 6 | 27,00 | 27,5 | 18,25 |
| 7 | 36,25 | 35,5 | 22,25 |
| 8 | | | 27,00 |

III) $l = 146{,}5^{mm}$; $l' = 139{,}5^{mm}$; $h = 1{,}67 \frac{q^2}{s}$

| s | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|
| q | h | h | h |
| 4 | 9,25 | | |
| 5 | 14,5 | | |
| 6 | 20,5 | 15,25 | |
| 7 | 26,25 | 20,4 | 19,75 |
| 8 | | 27,25 | 22,25 |
| 9 | | 32,5 | 25,3 |
| 10 | | | 29,75 |

IV) $l = 94{,}75^{mm}$; $l' = 191{,}25^{mm}$; $h = 1{,}04 \frac{q^2}{s}$

| s | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|
| q | h | h | h |
| 5 | 9,75 | | |
| 6 | 12,25 | | |
| 7 | 16,50 | 13,75 | 11,3 |
| 8 | 23,00 | 16,75 | 13,5 |
| 9 | | 20,00 | 16,4 |
| 10 | | 24,00 | 20,0 |

Der Halbmesser r des Platindrahts war 0,09 Millimeter. Berechnet man die Temperaturerhöhung T — t nach der oben aufgestellten Formel, so erhält man folgende Resultate:

| Länge l. | h. | T—t. |
|---|---|---|
| 272,5 | 2,97 | 0⁰, 238 |
| 211,5 | 2,256 | 0⁰, 228 |
| 146,5 | 1,67 | 0⁰, 239 |
| 94,75 | 1,04 | 0⁰, 237. |

Die Erwärmung, welche ein Draht durch die elektrische Entladung erhält, ist demnach von seiner Länge unabhängig.

Auf Grundlage der vorstehenden Versuche gestützt können wir also sagen: Bei ganz gleicher Ladung derselben Batterie erfahren Drähte einerlei Stoffes eine Temperaturerhöhung, welche unabhängig ist von der Länge des Drahtes und umgekehrt proportional der vierten Potenz seines Halbmessers. In jedem Drahte wird mithin eine der Länge, dem Querschnitte desselben umgekehrt proportionale Wärmemenge frei. In nachstehenden Formeln lassen sich diese Resultate zusammenfassen, wenn die Batterie von der Oberfläche s mit der Elektricitätsmenge q geladen ist: Temperaturerhöhung $T = \frac{\beta}{v^4} \cdot \frac{q^2}{s}$, worin $\beta$ eine Constante, nämlich die Erwärmung für die Einheiten der Veränderlichen darstellt. Ferner die in der Drahtlänge l frei gewordene Wärmemenge $w = \frac{\gamma l}{r^2} \cdot \frac{q^2}{s}$, wo $\gamma$ eine neue Constante bedeutet.

Wir gehen nun mit Rieß zur Untersuchung des Einflusses über, welchen die Länge des Schließungsbogens auf die Erwärmung in demselben hat. Zu diesem Behufe blieb der Platindraht in der Kugel des Thermometers unverändert, während mittelst des Henley'schen Ausladers verschieden lange Stücke desselben Kupferdrahtes von 0,65 Millimeter Dicke eingeschaltet wurden. Die von Rieß gefundenen Resultate sind folgende, in denen λ die Länge des eingeschalteten Kupferdrahtes in Meter bezeichnet:

Für $\lambda = 0$ war $h = 1{,}76 \frac{q^2}{s}$;

Für $\lambda = 3{,}12$ Meter war $h = 1{,}56 \frac{q^2}{s}$;

Für $\lambda = 15{,}91$ Meter war $h = 1{,}08 \frac{q^2}{s}$;

Für $\lambda = 31{,}96$ Meter war $h = 0{,}77 \frac{q^2}{s}$;

Für $\lambda = 47{,}97$ Meter war $h = 0{,}61 \frac{q^2}{s}$;

Für $\lambda = 80{,}03$ Meter war $h = 0{,}47 \frac{q^2}{s}$.

Die Erwärmung des Platindrahts nimmt also mit Verlängerung des zum Schließungsbogen hinzugefügten Drahtes ab. — Für die Einheit der La-

dung bei der Einheit der Belegungsfläche besteht zwischen h und λ folgende Relation: $h = \frac{1,76}{1 + 0,029\lambda}$. Die Temperaturerhöhung T eines Drahtes durch eine derartige Entladung ist mithin im Allgemeinen durch die Formel $T = \frac{a}{1 + b\lambda}$ darstellbar, wo a der Werth von T für $\lambda = 0$ und b eine von der Natur des Leiters abhängende constante Größe bedeutet. Die Erwärmung des Drahtes ist also seiner Länge umgekehrt proportional.

Um den Einfluß der Dicke des eingeschalteten Drahtes auf die Erwärmung kennen zu lernen, entfernte Rieß den Kupferdraht und brachte statt desselben successiv Platindrähte von verschiedener Länge und Dicke zwischen den Armen des Henley'schen Ausladers an. Die auf diese Weise erhaltenen Resultate sind folgende, in denen λ die Länge der Platindrähte in Millimeter und ϱ deren Halbmesser bedeutet:

Für $\lambda = 0$; $\varrho = 0$ war $h = 3,05\,\frac{q^2}{s}$;

Für $\lambda = 324,8^{mm}$; $\varrho = 0,26^{mm}$ war $h = 2,77\,\frac{q^2}{s}$;

Für $\lambda = 324,8^{mm}$; $\varrho = 0,17^{mm}$ war $h = 2,50\,\frac{q^2}{s}$;

Für $\lambda = 324,8^{mm}$; $\varrho = 0,11^{mm}$ war $h = 2,05\,\frac{q^2}{s}$;

Für $\lambda = 226,5^{mm}$; $\varrho = 0,13^{mm}$ war $h = 2,37\,\frac{q^2}{s}$;

Für $\lambda = 189,5^{mm}$; $\varrho = 0,089^{mm}$ war $h = 2,06\,\frac{q^2}{s}$.

Die Erwärmung des Drahtes im Thermometer ändert sich demnach nicht allein mit der Länge des zugesetzten Drahtes, sondern auch mit der Dicke desselben und zwar in umgekehrter Beziehung zu derselben. Die Formel $h = \frac{1,35}{1 + \frac{b\lambda}{\varrho^2}}$ entspricht den oben stehenden Relationen, wo b eine constante Größe ist, hier $b = 0,00002$. — Daraus ergibt sich für die Erwärmung eines Drahtes durch die Einheit der Ladung je nach den Dimensionen des hinzugesetzten Drahtes im Allgemeinen die Formel: $h = \frac{a}{1 + \frac{b\lambda}{\varrho^2}}$: d. h. die Erwärmung eines Drahtes ist seiner Länge umgekehrt und seinem Querschnitte direct proportional.

Schaltet man statt des Drahtes eine mit Wasser gefüllte Glasröhre als Zwischenleitung ein, so ist selbst die Ladung der stärksten Batterie nicht mehr im Stande, eine Senkung von 0,226 Millim. der Flüssigkeit im Thermometer hervorzubringen. Hier ist aber die Entladung der Batterie

nicht mehr momentan wie bei der Einschaltung des längsten Kupferdrahtes, sondern sie erfordert eine wahrnehmbare Zeit. Daraus schließen wir, daß jede Verminderung der Erwärmung die Folge einer Verzögerung der Entladungszeit ist. Wir können also sagen, daß durch Einschaltung von homogenen Drähten die Entladung um eine Zeit verzögert wird, welche der Länge des eingeschalteten Drahtstückes direct, seinem Querschnitte umgekehrt proportional ist. — Werden verschiedenartige Metalle von gleicher Länge und Dicke eingeschaltet, der Draht im Thermometer aber ungeändert gelassen, so zeigen sich bei demselben Entladungsschlag keine gleiche Depressionen, woraus wir schließen, daß die Metalle hinsichtlich ihres elektrischen Verzögerungsvermögens von einander abweichen. — Um die eigenthümliche Verzögerungskraft eines Metalles zu bestimmen, nehmen wir die Formel $h = \frac{a}{1 + \frac{b\lambda}{\varrho^2}}$ zur Hülfe. Das zweite Glied des Nenners, nämlich $\frac{b\lambda}{\varrho^2}$, ist als die durch das zugesetzte Drahtstück bewirkte Verzögerung aufgefaßt worden. Da nun die bei demselben Metall constante Größe b sich mit dem Metall ändert, so ist derselben ein constanter Factor x beizufügen, wenn die Formel für die Erwärmung, wie sie das andere Metall mit sich bringt, erhalten werden soll. Die in Rede stehende Formel wird hiernach: $h = \frac{a}{1 + \frac{b x \lambda}{\varrho^2}}$. Hat man nun bei Anwendung des nämlichen Platindrahtes in dem Thermometer den Werth von bx für ein anderes Metall durch die Erfahrung bestimmt, so brauchen wir blos diesen Werth durch den Werth von b zu dividiren, um die Verzögerungskraft jenes Metalls zu erhalten, die des Platins als Einheit angenommen. Der Werth von x bestimmt die Größe des Leitungswiderstandes und der reciproke Werth $\frac{1}{x}$ die sogenannte Leitungsfähigkeit.

Die Werthe der Leitungswiderstände, Platin zur Einheit genommen, nebst den Leitungsvermögen der Metalle, das des Kupfers = 100 gesetzt, enthält folgende Zusammenstellung:

| Metalle. | Leitungswiderstände. | Leitungsvermögen. |
|---|---|---|
| Silber | 0,1043 | 148,74 |
| Kupfer | 0,1552 | 100 |
| Gold | 0,1746 | 88,87 |
| Messing | 0,5602 | 27,7 |
| Eisen | 0,8789 | 17,66 |
| Platin | 1 | 15,52 |
| Zinn | 1,053 | 14,7 |

| Metalle. | Leitungswiderstände. | Leitungsvermögen. |
|---|---|---|
| Nickel | 1,180 | 13,15 |
| Blei | 1,503 | 10,32 |
| Neusilber | 1,752 | 8,86. |

Die Erwärmung eines Drahtes durch elektrische Entladung hängt von dem Metalle des Drahtes ab und ist stets mit einem geringeren elektrischen Leitungsvermögen desselben verbunden. Um den Einfluß des Metalles auf seine elektrische Erwärmung numerisch zu bestimmen, schloß Rieß Drähte von verschiedenen Metallen in die Kugel des Thermometers ein und ließ den Schließungsbogen der Batterie unverändert.

In diesem Falle hat die Erwärmung T eines jeden in der Kugel befindlichen Drahtes vom Radius r durch die Einheit der Ladung $T = \frac{a}{r^4}$ zum Ausdruck. Der Werth von a ändert sich mit dem Metall und geht in ay über für ein anderes Metall, wenn a jener Werth für ein bestimmtes Metall, z. B. Platin, ist. Der Factor y, mit welchem die Größe a oder die Erwärmung des Platindrahts für die Einheit des Halbmessers multiplicirt werden muß, um die Erwärmung eines Drahtes von anderem Metalle unter derselben Bedingung und die nämliche elektrische Entladung zu erhalten, heißt das elektrische Erwärmungsvermögen. Ist das Produkt $Tr^4$ für Platin bestimmt und das analoge $T_1 r_1{}^4$ für das andere Metall aus der Versuchsreihe hergeleitet, so gibt die Division des zweiten Produkts durch das erste den Werth y des elektrischen Erwärmungsvermögens des angewandten Metalls, das des Platins als Einheit angenommen. — Indem Rieß die Werthe der elektrischen Verzögerungskraft mit denen des Erwärmungsvermögens verglich, fand er, daß die Produkte der letzteren mit ihren Wärmecapacitäten und ihren specifischen Gewichten den ersteren proportional werden. Dividirt man daher gedachte Produkte noch durch die Wärmecapacität und das specifische Gewicht des Platins, um für dieses Metall den Werth 1 zu erhalten, so stimmen die dergestalt gefundenen Zahlen ziemlich gut mit den auf dem Wege des Experiments gefundenen Werthen der Verzögerungskraft überein. Das relative elektrische Erwärmungsvermögen eines Metalls wird demnach erhalten, wenn man die elektrische Verzögerungskraft desselben durch seine Wärmecapacität und sein specifisches Gewicht dividirt.

Alle Fälle über die Erwärmung eines continuirlichen Drahtes umfaßt nachstehende Formel:

$$T = \frac{a x'}{r^4 c \delta} \cdot \left( \frac{1}{1 + \frac{b \lambda x}{\varrho^2}} \right) \cdot \frac{q^2}{s},$$

wo c die Wärmecapacität, $\delta$ das specifische Gewicht des betrachteten Me-

talls bedeutet. Der erste Factor betrifft die Beschaffenheit des untersuchten Drahtes, der zweite die des Schließungsbogens, der dritte die der elektrischen Ladung. Die Constanten a und b müssen empirisch bestimmt werden, wobei dem Produkte $c\delta$ der numerische Werth, welchen dasselbe für Platin erhält, als Einheit unterliegt. Hiernach ist a die Temperaturerhöhung eines Platindrahts von 1 Millim. Halbmesser durch die Einheit der Ladung; b die Verzögerung der Entladung, wenn ein Platindraht von 1 Millim. Länge und Halbmesser zum Schließungsbogen hinzugesetzt worden. — Die in dem Drahte, dessen Länge l und dessen Radius r ist, freigewordene Wärmemenge wird durch die Formel

$$w = \frac{a x' l}{r^2} \left( \frac{1}{1 + \frac{b x \lambda}{\varrho^2}} \right) \frac{q^2}{s}$$

ausgedrückt. In dem Falle, daß ein einziger Draht zur Schließung der Batterie benutzt wird, hat man $x' = x$, $l = \lambda$; woraus entspringt:

$$w = \frac{a}{\frac{\varrho^2}{x\lambda} + b} \cdot \frac{q^2}{s}.$$

Je länger und dünner der Schließungsdraht der Batterie ist, desto größer wird die in ihm erregte Wärmemenge, deren Grenzwerth für die Einheit der Ladung $\frac{a}{b}$ beträgt.

Findet im Schließungsbogen eine Unterbrechung statt, so fällt die Erwärmung stets geringer aus als bei ununterbrochener Schließung. Es ereignet sich dies, mag man die Unterbrechung des Schließungsbogens mittelst Scheiben, Kugeln oder Spitzen hervorbringen. — Wird an der Unterbrechungsstelle ein dünner Isolator eingeschaltet, welcher von dem Entladungsfunken durchbrochen werden kann; so bemerkt man eine desto geringere Erwärmung, je größer der Widerstand ist, welchen die Elektricität zu überwinden hat. — Folgendes Beispiel macht dies anschaulich. Der Schließungsbogen war mittelst Kugeln unterbrochen, zwischen welche verschiedene Substanzen gebracht wurden; bei einer und derselben Entladung ergaben sich folgende Erwärmungen des Drahts im Thermometer:

| Zwischenlage. | Erwärmung. |
|---|---|
| Luft | 34,75 |
| ein Kartenblatt | 27 |
| zwei Kartenblätter | 20 |
| ein Glimmerblatt | 10,1. |

### 3. Glühen und Schmelzen von Metalldrähten. — Lichtwirkungen.

Stärkere Entladungen bringen Metalldrähte zum Glühen, selbst zum Schmelzen. Auch diese Erscheinungen hat Rieß einer genaueren Unter-

suchung unterworfen und gefunden, daß dieselben einer blosen Steigerung der elektrischen Erwärmung nicht zugeschrieben werden können. Als er nämlich einen dünnen Platindraht von 34 Millim. Länge in den Schließungsbogen der Batterie und einen dickeren Platindraht im elektrischen Thermometer eingeschaltet hatte, fand er, daß durch die in fünf Flaschen angehäufte Elektricitätsmenge 42 der dünne Draht vollständig geschmolzen wurde. Die Temperaturerhöhung des Drahts bei einer Länge von 34 Millimeter betrug für die Einheit der Ladung 0,68 Grad, woraus für die Zerstörung des Drahtes sich eine Temperatur von $\frac{0,68 \,.\, 42^2}{5} = 245$ Graden ergab. — Diese Temperatur reicht aber nicht zum Glühen, geschweige denn zum Schmelzen des Platins hin; eine starke Entladung muß mithin in anderer Weise auf den Draht einwirken als eine schwächere. Daß der Act des Schmelzens durch Elektricität von jenem des elektrischen Erwärmens zu trennen ist, zeigt sich schon augenfällig, wenn man sein Augenmerk auf die Einwirkungen richtet, welche der Draht erfährt, ehe die Stärke der Entladung erreicht ist, die den Draht zum Glühen bringt. Lange zuvor, ehe man die zum Glühen nöthige Elektricitätsmenge erlangt hat, bemerkt man am Drahte Erscheinungen, welche auf ein gewaltsames Eindringen der Elektricität in denselben hinweisen. Der Draht wird sichtbar erschüttert, kleine Funken treten an seinen Enden auf, Theilchen werden von seiner Oberfläche losgerissen, die in Gestalt eines dichten Dampfes von ihm sich erheben. Die Erschütterung ist um so ersichtlicher, je beweglicher der Draht ist; die Funken hängen von dem Material und der Form des Drahtes und der Art der Befestigung ab. Viel constanter als das Auftreten der Funken ist die Bildung der Dampfwolke, die bei keinem Metall fehlt. — Bemerkenswerth sind ebenfalls die winkligen Einbiegungen, welche in dem Drahte bei der Entladung einer geringeren Elektricitätsmenge entstehen, als die zum Glühen erforderliche ist.

Um die Gesetze des elektrischen Glühens aufzufinden, fügte Rieß in den Schließungsbogen einen dünnen Platindraht ein und außerdem in das elektrische Thermometer einen Platindraht von solcher Dicke, daß er bei den stärksten Entladungen unversehrt blieb. Eine bestimmte Zahl von Flaschen der Batterie wurde mit steigenden Elektricitätsmengen geladen, bis eine Entladung erreicht war, die den Draht in ein am Tage sichtbares Glühen versetzte, jedesmal aber die Erwärmung im Thermometer beobachtet. Nachstehende Beobachtungsreihe gibt die Ladungen an, die zum Glühen hinreichten und die dabei wahrgenommenen Depressionen des Thermometers.

| Flaschenzahl. | Elektricitätsmenge. | Erwärmung des Thermometers. |
|---|---|---|
| 5 | 12 | 47 |
| 4 | 11 | 49,25 |
| 3 | 10 | 48,75 |
| 2 | 8 | 45,75. |

Es folgt hieraus, daß das Glühen des dünnen Drahtes von dem Quotienten $\frac{q^2}{s}$ abhängig ist. Hat man daher in einem bestimmten Schließungsbogen die zum Glühen eines Drahtes nöthige Elektricitätsmenge und Flaschenzahl gefunden, so läßt sich für jede beliebige Flaschenzahl die Elektricitätsmenge berechnen, welche zum Glühen desselben Drahtes nöthig ist. — Wir wollen der Kürze halber unter Stärke des Entladungsstromes die Größe der Erwärmung verstehen, welche der Strom in einem constanten im Schließungsbogen befindlichen Drahte hervorbringt. — Wir können alsdann sagen, der im Schließungsbogen der Batterie befindliche Draht kommt unter sonst gleichen Umständen bei einerlei Stärke des Entladungsstromes durch die Entladung ins Glühen.

Ein 35,5 Millimeter langer Platindraht kam ins Glühen bei 4 Flaschen und einer Elektricitätsmenge 12; die Erwärmung des Thermometers war 18,75. Ein ähnlicher Draht von 175 Millimeter Länge kam ins Glühen bei 4 Flaschen und einer Elektricitätsmenge 22; die Erwärmung des Thermometers war ebenfalls 18,75. Daraus folgt, daß die zum Glühen eines Drahtes erforderliche Stärke des Entladungsstromes von der Länge des Drahtes unabhängig ist. — Um drei gleichlange Platindrähte, deren Radien 0,04, 0,047, 0,058 Millimeter betrugen, waren Entladungsströme nöthig, deren Stärken nach dem elektrischen Thermometer gemessen 20,25; 45,5; 97 betrugen. Die Vergleichung der Thermometeränderungen mit den Radien der glühenden Drähte zeigt, daß die ersteren den vierten Potenzen der letzteren proportional sind. Daraus folgern wir, daß die Stärke des Entladungsstromes einer Batterie, um einen Draht zum Glühen zu bringen, der vierten Potenz des Radius desselben proportional ist.

Aus den Versuchen, die Rieß über das Glühen von Drähten verschiedener Metalle angestellt hat, ergibt sich, wenn mit 1 die Stärke des Entladungsstromes bezeichnet wird, welche zum Glühen eines Platindrahtes erforderlich ist, daß bei gleichen Dimensionen ein Draht von Eisen glüht bei 0,816; von Neusilber bei 0,95; von Messing bei 0,59; von Silber bei 4,98; von Kupfer bei 5,95. Kennt man also die beim Glühen eines Drahtes stattfindende Thermometerangabe, so kann man die Thermometerangabe berechnen, bei welcher ein anderer Draht zum Glühen kommen wird. Man hat nämlich, wenn h, r, i die Thermometerangabe, der Radius und

die relative Stromstärke für den ersten Draht sind und h′, r′, i′ die analogen Stücke für den zweiten Draht bedeuten, die Relation:

$$h' = \frac{i'}{i} \left(\frac{r'}{r}\right)^4 h.$$

Durch wachsende Verstärkung des Entladungsstromes wird der Draht weißglühend, er reißt in der Nähe seiner Befestigungen ab, er zersplittert, schmilzt und zerstäubt. Bei allen Metallen geht die Zerreißung der Schmelzung voran; sie ist nur die Wirkung der Hitze auf fein zertheiltes Metall, woher es kommt, daß sie bei einer Temperatur unter dem Schmelzpunkte erfolgt. — Bei den oxydirbaren Metallen wird die Temperatur gesteigert durch die Aufnahme des Sauerstoffs aus der Luft, wodurch die Schmelzung erleichtert wird; daher schmilzt Eisen oft bei Entladungen, die direct nur ein mäßiges Glühen erzeugt haben würden. Wahrscheinlich tritt bei allen Metallen ein derartiger chemischer Effect zu dem elektrischen hinzu; denn selbst Platin schmilzt viel schwerer im luftverdünnten Raume durch Elektricität als in freier Luft. — Die Zerstäubung geschieht unter glänzender Lichtwirkung mit einem Knall; sie läßt sich bei allen Metallen hervorbringen und zwar desto leichter, je spröder dieselben sind. — Wenn Feuer auf ein Metall wirkt, so erhitzt es dasselbe fortwährend als ganze zusammenhängende Masse bis zum Schmelzen; die Elektricität dagegen erhitzt das Metall nur bis zu Temperaturen unter dem Schmelzpunkte und schmilzt gleichzeitig durch Zersplitterung und Erhitzung.

Wie wir oben gesehen haben, besteht für die Thermometeränderung h bei der Entladung der Elektricitätsmenge q aus s Flaschen die Relation: $h = \alpha \frac{q^2}{s}$, wo $\alpha$ für eine ganze Beobachtungsreihe merklich constant bleibt. Dies findet aber nicht mehr statt, wenn in dem Schließungsbogen sich ein Draht befindet, der durch die angewandten Entladungen mechanisch afficirt und ins Glühen versetzt wird. Der Werth von $\alpha$ nimmt von der ersten mechanischen Wirkung auf den Draht ab bis zur Erscheinung des Glühens, bleibt während der verschiedenen Stufen desselben nahe constant, worauf er bei der Zersplitterung und Schmelzung des Drahts wieder zunimmt. Dies ist in den folgenden Versuchen ersichtlich:

Versuch mit einem Platindraht von 36,25 Millimeter Länge, 0,09 Millimeter Radius bei 7 Flaschen.

| Elektricitätsmenge q. | Thermometerangabe h. | Werth von $\alpha$. | |
|---|---|---|---|
| 12 | 21 | 1,015 | |
| 14 | 26,5 | 0,947 | |
| 16 | 30,5 | 0,835 | |
| 22 | 56,25 | 0,813 | der Draht glüht. |
| 24 | 60,25 | 0,743 | „ „ „ |

| Elektricitätsmenge q. | Thermometerangabe h. | Werth von $\alpha$. |
|---|---|---|
| 26 | 72,00 | 0,743 der Draht glüht. |
| 28 | 73,50 | 0,655 „ „ „ |
| 35 | 101,50 | 0,743 der Draht schmilzt. |

Versuch mit einem Platindraht von 38,3 Millimeter Länge,
Radius 0,047 Millimeter bei 4 Flaschen.

| q | h | $\alpha$ |
|---|---|---|
| 5 | 17,25 | 2,75 |
| 7 | 31,50 | 2,60 |
| 9 | 45,00 | 2,23 |
| 11 | 61,25 | 2,02 Draht glühend |
| 13 | 75,00 | 1,80 weißglühend |
| 15 | 93,00 | 2,15 schmilzt. |

Elektrische Entladungen bis zu einer gewissen Stärke werden durch jeden Draht continuirlich fortgepflanzt, wobei der Draht erwärmt wird; stärkere Entladungen dagegen pflanzen sich durch denselben discontinuirlich fort, was Verbiegung, Glühen, Zerreißen, Schmelzen des Drahtes zur Folge hat.

Die Eigenschaft der conductiven Entladung, dünne metallene Leiter in ein Pulver zu verwandeln, hat man benutzt, um Abdrücke damit hervorzubringen. Man bedeckt zu diesem Behufe den papiernen Ausschnitt, der mit Fortsätzen von Stanniol versehen ist, auf der einen Seite mit einem Goldblättchen, welches mit zwei seiner Ränder den Stanniol berühren muß, und auf der andern Seite mit einem weißseidenen Band. Um die Berührung möglichst vollkommen zu machen, preßt man das Ganze zusammen. Werden alsdann die beiden Stanniolstreifen mit den beiden Flächen der Batterie in Verbindung gesetzt, so wird das Gold verflüchtigt und durch die ausgeschnittene Figur in Pulverform über das seidene Band verbreitet, auf welchem sich ein Abdruck von brauner Farbe festsetzt.

Spannt man einen vergoldeten Seidenfaden zwischen den Kugeln des Ausladers aus, so wird das Gold durch den elektrischen Schlag verflüchtigt, während die Seide unverletzt bleibt. Um den Versuch deutlicher zu zeigen, stellt man hinter dem Faden ein Blatt weißes Papier auf; nach der Entladung bemerkt man auf dem Blatte einen braunen Streifen. — Durch dieses Mittel läßt sich die Vergoldung auf einem Buche hinwegnehmen, wenn sie keine zu beträchtliche Ausdehnung hat.

Bemerkenswerth ist die Eigenschaft des elektrischen Lichtes, verschiedene einigermaßen durchscheinende Körper, wie Eier, saftige Früchte, Bimsstein und krystallinische Salze transparent zu machen, wenn man im Dunkeln durch ihre Substanz starke Entladungen führt. Aepfel, Eier gewähren in solchem Falle den Anblick glühender Sphäroiden. Die Erscheinung dauert nur einen Augenblick, indem sie mit dem Funken verschwindet, welcher sie

hervorruft. Nicht minder merkwürdig ist die Erzeugung der Phosphorescenz in verschiedenen Körpern, wenn er über deren Oberfläche hinweggeht. Man lege ein Stück Kreide, Zucker, Flußspath oder Marmor auf den Tisch des allgemeinen Ausladers und bringe dessen Stäbe auf die Oberfläche jener Körper, so daß die Enden der Stäbe etwas von einander abstehen. Läßt man dann mittelst der Leidener Flasche einen starken Schlag durch die Stäbe gehen, so sieht man auf der Oberfläche der erwähnten Körper einen Lichtstreifen, der einige Secunden lang hindurch noch fortdauert. — Diejenigen Körper, welche unter dem Einfluß des Sonnenlichtes am leichtesten und stärksten phosphoresciren, wie der Bonon'sche Leuchtstein und Canton'sche Phosphor, erlangen auch am ehesten durch den elektrischen Funken die Phosphorescenz. — Die Farbe des phosphorescirenden Lichtes fällt für verschiedene Stoffe sehr verschieden aus und richtet sich zum Theil nach der Stärke des Entladungsschlages.

Interessant sind die Erscheinungen, welche die elektrische Funkenentladung in Flüssigkeiten darbietet. Die Entladung kann eine discontinuirliche oder continuirliche sein; ob die eine oder die andere stattfindet, hängt bei constanter Ladung der Batterie und Entfernung der Leitungsstäbe von der Natur der Flüssigkeit und Beschaffenheit der Endflächen jener Stäbe ab. Unreinheit dieser Flächen begünstigt die Funkenentladung. Eine wirksamere Einleitung einer derartigen Entladung bietet der dünnste Ueberzug mit einer Oelhaut dar. — Geschieht die Entladung durch Kupferdrähte in Salzlosungen, so ist der Funke in den schwächeren Lösungen weiß und schallend, in den stärkeren gelblich und von dumpferem Schalle. Bei steigender Menge des zugesetzten Salzes geht die leuchtende schallende Entladung in eine unmerkliche continuirliche Entladung über, welche wieder zu einer discontinuirlichen wird, wenn man die Kupferdrähte mit einer Oelhaut bedeckt. Je ausgedehnter die Endflächen der Kupferdrähte sind, desto schwächer wird die Funkenentladung, welche bei hinlänglich großer Ausdehnung jener Flächen gänzlich aufhört und wieder eintritt, wenn man dieselben mit einer dünnen Oelhaut bekleidet. — Wird die Entladung durch einen in eine Glasröhre eingeschmolzenen dünnen Kupferdraht und durch einen dickeren in eine messingene Kugel sich endigenden Kupferdraht bewerkstelligt, so erfolgt sie in der Salzlösung mit hellem schallenden Funken, der bei den stärkeren Lösungen weniger blendend erscheint.

Bei Versuchen mit Salpetersäure, in denen theils Platindrähte, theils Platinbleche die Elektricität in die Flüssigkeit führten, war der Funke weiß und schallend. Die Funkenentladung fiel desto schwächer aus, je concentrirter die Flüssigkeit war, und kam bei Anwendung zweier Platinbleche schwer zu Stande. — Lag der Platindraht der inneren Belegung der mit positiver Elektricität geladenen Batterie und das Platinblech der äußeren Be-

legung derselben zunächst, so war Glanz des Funkens und Stärke größer, als im entgegengesetzten Falle. Derselbe Unterschied in der Wirkung des Entladungsschlages trat zu Tage, aber im umgekehrten Sinne, wenn die innere Belegung der Batterie mit negativer Elektricität geladen wurde. — Aehnliche Erscheinungen zeigten sich bei der elektrischen Entladung in der Salzlösung, wenn die Messingkugel an ihrem Drahte der inneren Belegung der positiv geladenen Batterie oder der dünne Draht der inneren Belegung der negativ geladenen Batterie zunächst lag. — Die vorstehenden Versuche, denen wir noch andere hinzufügen könnten, wenn es nöthig wäre, lehren also, daß jeder Umstand, welcher ein Hinderniß für die Fortpflanzung der Elektricität oder eine Ursache zur Anhäufung der Elektricität ist, zugleich eine Veranlassung abgibt, die continuirliche Entladung in eine discontinuirliche zu verwandeln. Damit steht die Thatsache im vollsten Einklange, daß die Funkenentladung bei bestimmter Entfernung der Leitungsstäbe eine desto stärkere Ladung verlangt, je besser die Flüssigkeit die continuirliche Entladung leitet.

Die discontinuirliche Entladung kommt in der Luft leichter zu Stande, als in Flüssigkeiten und bei festen Körpern. Es war deßhalb von Interesse zu untersuchen, welchen Einfluß verdünnte Luft auf die Entladung hat. Lehrreich sind in dieser Hinsicht nachstehende zwei von Rieß angestellte Versuche. Er nahm einen Glascylinder von 10 Centimeter Höhe und 3 Centimeter Weite, in dessen Inneres von unten und oben in Platinbleche endigende Messingstäbe hineinragten. Der Glascylinder konnte auf die Luftpumpe aufgeschraubt und so die Luft in ihm beliebig verdünnt werden. In dem einen Versuche wurden die Platinbleche durch einen 5 Centimeter langen dicken Platindraht mit einander verbunden und dann bei verschiedener Dichtigkeit der Luft im Cylinder die Stromstärken mittelst des im Schließungsbogen befindlichen elektrischen Thermometers bestimmt, welche durch Entladung von vier Flaschen erhalten wurden. Die Flaschen lud er mit verschiedener Elektricitätsmenge. In der untenstehenden Tabelle sind die beobachteten Erwärmungen h nebst den berechneten Größen a angegeben, welche für die Einheit der Ladung gelten:

| Elektricitätsmenge. | Luftdruck 752,4 Millimeter. | | Luftdruck 2,22 Millimeter. | |
|---|---|---|---|---|
| | h | a | h | a |
| 12 | 56 | 1,555 | 58,7 | 1,626 |
| 16 | 94,75 | 1,487 | 63,7 | 1,467 |
| 20 | 147,7 | 1,510 | 150,5 | 1,510 |
| 24 | 218 | 1,510 | 220,3 | 1,535. |

Die Stromstärke war im Schließungsbogen nicht wesentlich verschieden, mochte der Platindraht in Luft von gewöhnlicher Dichte oder von einigen Millimeter Quecksilberdruck stehen. Die Werthe von a zeigen, daß sämmt-

liche Entladungen continuirliche gewesen sind. Hierauf ersetzte Rieß den Platindraht im Glascylinder durch einen dünneren, wobei er folgende Resultate erhielt:

| Elektricitätsmenge. | Luftdruck 752,4 Millimeter. h | a | Luftdruck 2,25 Millimeter. h | a |
|---|---|---|---|---|
| 12 | 44,5 | 0,55 | 44 | 0,54 |
| 16 | 72,5 | 0,50 | 78 | 0,54 |
| 20 | 100,5 | 0,45 | 141,7 | 0,63 |
| 24 | 124,2 | 0,38 | 235 | 0,72. |

Die Entladung geschah hier discontinuirlich, wie auch der Anblick des Drahtes, der bei Entladung der Elektricitätsmenge 24 dunkel glühte. — Die größere Stromstärke in der letzten Beobachtung rührte von der gleichzeitigen Entladung durch den Metalldraht und die ihn umgebende dünne Luft her. Hieraus folgt, daß so lange die Elektricität sich in einem Drahte continuirlich fortpflanzt, die Entladung nur durch den Draht geschieht und die ihn umgebende Luft sich als Isolator verhält; daß hingegen, wenn die Entladung durch den Draht discontinuirlich geschieht, die Luft zu einem Leiter wird. — Bei der Elektricitätsmenge 28 blieb der dünne Platindraht unversehrt, wenn die Entladung in verdünnter Luft erfolgte, zugleich erschien der Glascylinder mit Licht erfüllt. Als Rieß den Versuch bei vollem Luftdrucke wiederholte, wurde der Draht hellglühend in mehrere Stücke zerrissen.

Die Aufgabe, die Intensität des elektrischen Funkens zu bestimmen, hat Masson auf eine sehr sinnreiche Weise zur Lösung gebracht. Wenn nämlich in Gegenwart eines constanten Lichtes eine in gleichgroße, abwechselnd weiße und schwarze Sectoren getheilte Scheibe rasch herumgedreht wird, so gewahrt man eine weiße Scheibe. Wird dagegen die Beleuchtung durch ein momentanes Licht bewirkt, so unterscheidet man deutlich die Sectoren. Wird die rotirende Scheibe zugleich durch ein constantes und ein momentanes Licht erleuchtet, so sieht man die Sectoren desto deutlicher, je heller das letztere Licht ist. In dem besonderen Falle, in welchem bei Einwirkung dieser beiden Lichtquellen die Sectoren eben aufhören unterscheidbar zu sein, wird die Stärke der Erleuchtung durch die momentane Lichtquelle ein bestimmter Bruchtheil der Erleuchtung durch die constante Lichtquelle sein, dessen Größe auch die Grenze des betrachtenden Auges ist. Es kommt also zunächst darauf an zu zeigen, auf welche Weise jene fragliche Grenze ausgemittelt werden kann.

Masson nahm zu diesem Behufe eine runde Scheibe weißen Papiers von 6 Centimeter Durchmesser, zeichnete auf derselben einen Sector, dessen Größe den $\frac{1}{60}$ten Theil von der der ganzen Scheibe betrug, und schwärzte

ein Stück dieses Sectors, eingeschlossen von zwei concentrischen Kreisen, die dergestalt gezogen waren, daß der geschwärzte Theil eben so groß als die weißen Theile sind, zwischen welchen er sich befand. Die so vorbereitete Scheibe brachte Masson alsdann auf einen geeigneten Apparat, der ihm gestattete, sie 200 mal in der Secunde umzudrehen. Bei dieser Bewegung beschrieb das schwarze Stück des Sectors einen schwarzen Ring, der mehr oder weniger dunkelgrau gegen den durch den übrigen Theil erzeugten weißen Ring erschien. Wäre aber einem Individuum die Scheibe gleichförmig erhellt vorgekommen, so mußte dasselbe zwei Beleuchtungen für identisch halten, die in der Wirklichkeit um $\frac{1}{60}$ verschieden waren. — Durch dergleichen mit verschiedenen Scheiben, auf denen die Breite des Sectorenstücks $\frac{1}{50}$, $\frac{1}{60}$, $\frac{1}{70}$, $\frac{1}{80}$, $\frac{1}{90}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{110}$, $\frac{1}{120}$ des ganzen Umfangs betrug, angestellte Versuche hat Masson gefunden, daß bei verschiedenen Personen die Empfindlichkeit des Auges von $\frac{1}{60}$ bis $\frac{1}{120}$ variirt; daß die Empfindlichkeit des Auges unabhängig ist von der Stärke und der Farbe des Lichtes, wenn die Helligkeit nur hinreicht um deutlich zu lesen.

Das von Masson zu seinen Versuchen angewandte elektrische Photometer bestand aus einer in abwechselnd weiße und schwarze Sectoren getheilten Scheibe, welche in einer bestimmten Richtung durch das constante Licht einer Lampe erleuchtet wurde. Diese in einem schwarzen Kasten befindliche Lampe ließ sich zugleich in dieser Richtung verschieben, so daß sie nur durch eine Röhre ihr Licht auf die rotirende Scheibe werfen konnte. In einer zweiten auf der ersteren senkrechten Richtung waren zwei gegeneinander überstehende Messingkugeln verschiebbar, deren eine mit der unteren, die andere mit der oberen Belegung einer horizontalen Glastafel in leitender Verbindung stand. Der Funke schlug allemal zwischen den beiden Kugeln über, sobald die Ladung der Scheibe eine gewisse Grenze erreicht hatte. — Aus einer Reihe directer mit Hülfe des elektrischen Photometers sorgfältig ausgeführter Messungen hat Masson über die Intensität des Entladungsfunken folgende Resultate abgeleitet: Die Intensität des Funkens ändert sich proportional mit dem Quadrate der Schlagweite. Die Lichtstärke des elektrischen Funkens ist dem Flächeninhalte der Belegungen direct proportional. Die Intensität des Funkens ist der Dicke der Glastafel umgekehrt proportional. Die Gestalt der Metallbelegungen hat keinen Einfluß auf die Lichtstärke des Funkens, wenn nur der Flächeninhalt der Belegung derselbe bleibt.

Die eben besprochenen Gesetze der Lichtstärke des elektrischen Funkens sind in der folgenden Formel ausgedrückt: $J = \frac{h x^2 s}{a}$, wo J die Licht-

stärke des elektrischen Funkens in der Einheit der Entfernung; x die Schlagweite; s die Oberfläche der Belegung; a die Dicke der Glastafel; h einen constanten Factor bezeichnet. — Nach den Versuchen von Rieß ist aber $x = b\frac{q}{s}$, wo b eine Constante und q die angehäufte Elektricität darstellt. Man erhält hiernach, wenn man den Werth von x in die vorhergehende einführt und $h b^2 = k$ setzt, die Relation: $J = \frac{k}{a} \cdot \frac{q^2}{s}$; die Intensität des elektrischen Funkens ist folglich dem Quadrat der Elektricitätsmenge direct und der Oberfläche der Belegung verkehrt proportional. — Nach Rieß Untersuchungen ist aber die Wärmemenge w, welche in einem Drahte frei wird, wenn man durch ihn die auf der Oberfläche s angehäufte Elektricitätsmenge q entladet, gleich $m\frac{q^2}{s}$. — Aus der vergleichenden Zusammenstellung der beiden letzteren Resultate ergibt sich also das bemerkenswerthe Resultat, daß die Intensität des Lichtes des an einer Unterbrechung der Schließung überspringenden Funkens und die Wärmemenge, welche in dem zu dem Schließungsbogen gehörigen Metalldraht durch die Entladung entwickelt wird, nach den nämlichen Gesetzen sich ändern.

## 4. Physiologische Wirkungen. — Geschwindigkeit der Elektricität.

Faßt man die äußere Belegung der Leidener Flasche mit der einen Hand und berührt man mit dem Knöchel der andern Hand den Knopf der Flasche, so fühlt man bei der Entladung eine schmerzhafte Erschütterung, die bei schwächeren Ladungen in den Armgelenken stattfindet, bei stärkeren bis in die Brust sich erstreckt. Sehr starke Ladungen können leicht gefährlich werden, Betäubung, Lähmungen, Blutspeien bewirken, ja selbst den Tod zur Folge haben. — Man kann den Schlag mehreren Personen auf einmal mittheilen, indem man sie sich gegenseitig die Hände geben läßt, während die an dem einen Ende der Reihe befindliche Person den äußern Beleg der Flasche anfaßt und die an dem andern Ende stehende den Knopf der Flasche berührt. Die äußersten Personen empfinden den Schlag stärker als die in der Mitte stehenden. — Bietet man dem Schlage gleichzeitig mehrere Wege dar, so vertheilt er sich unter dieselben nach Maßgabe ihrer Leitungsfähigkeit. Man kann deßhalb eine Flasche ohne Scheu entladen, wenn man einen hinlänglich dicken Draht in der Mitte mit der Hand faßt und die beiden Belege mit den Drahtenden berührt. — Vögel und andere kleine Thiere werden durch Schläge aus starken Batterien augenblicklich getödtet; man hat wahrgenommen, daß die Verwesung bei solchen Todesfällen zeitiger als gewöhnlich beginne. Dasselbe soll sich auch bei Leichnamen von Thieren ereignen, welche vom Blitze erschlagen worden sind.

Die Wirkungen der Elektricität, namentlich die der Leidener Flasche, mußten bald auf den Gedanken führen, die Elektricität auch als Heilmittel in Krankheiten anzuwenden. Es ist Thatsache, daß verschiedene krankhafte Zustände bei mehreren Personen durch Anwendung der Elektricität gehoben worden sind; die elektrische Behandlung dergleichen Zustände bei anderen Personen aber keinen Erfolg gehabt hat. Vielleicht war in diesen Fällen keine Heilung mehr möglich, oder kam die Elektricität in unrichtiger Weise und mit unzureichendem Apparate zur Anwendung: uns steht es nicht zu, darüber ein Urtheil abzugeben. Hier beschränken wir uns nur darauf, mit wenigen Worten das dabei übliche Verfahren anzugeben, soweit es in das Gebiet der Physik einschlägt, da die Frage über die glückliche Anwendung der Elektricität in verschiedenen Krankheiten die Arzneikunde zu beantworten hat. Ein ähnliches Verfahren werden wir einhalten, wenn von den galvanischen Apparaten und den Inductionsapparaten späterhin die Rede sein wird, welche zu therapeutischen Zwecken besonders construirt worden sind.

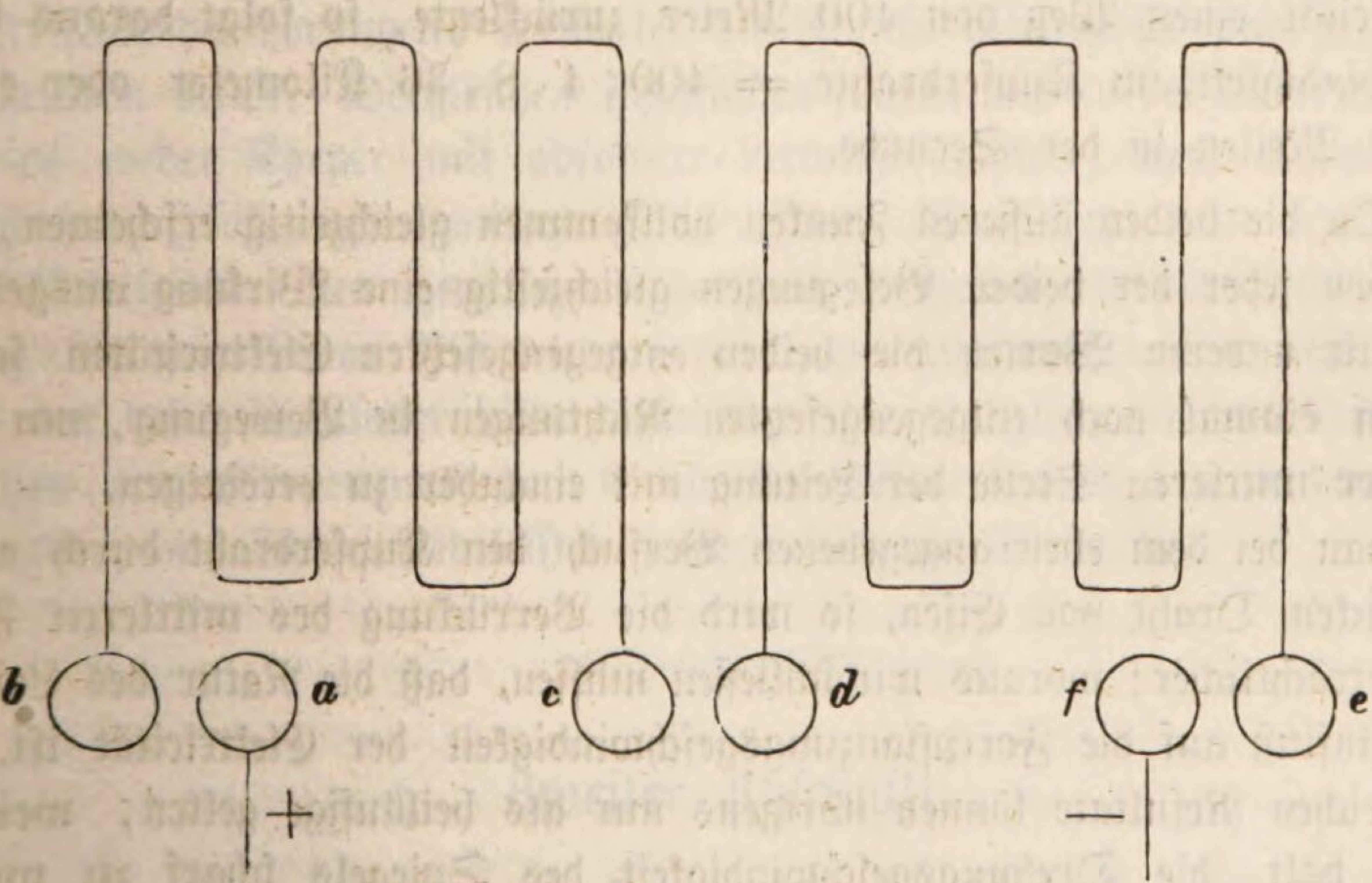
Die Elektricität kann zur Heilung von Krankheiten in verschiedenen Graden zur Anwendung kommen. Bei dem Durchströmen der Elektricität durch den Körper wird derselbe am besten isolirt, von dem Conductor der Elektrisirmaschine die Elektricität auf den Theil des menschlichen Körpers geleitet, auf welchen sie wirken soll, und die Leitung mit dem isolirten Reibzeuge in Verbindung gebracht. — Das Ausströmen der Elektricität, das in vielen Fällen sich als ein wirksames Mittel bewährt hat, geschieht wenn man mittelst isolirter Messingstäbe, die entweder in feine Spitzen auslaufen oder abgestumpfte Kegel sind oder in Kegel von Holz sich endigen, die Elektricität auf den kranken Theil wirken läßt. Spitzen geben den mildesten Strom, einen stärkeren die abgestumpften Kegel, den stärksten aber die Kugel von Holz. — Die einfachen Funken lassen sich entweder aus dem kranken Theile des auf dem Isolirstuhl befindlichen und mit dem Conductor in Verbindung stehenden Menschen ausziehen, oder dem nicht isolirten Kranken mittelst guter isolirter Handgriffe zuführen. Empfindliche Funken liefert eine auf den Zuleitungsdraht aufgeschraubte Kugel von Holz. Die Funken werden noch stärker, wenn man die Haut mit Oel einreibt. — Den stärksten Grad der Elektricität gewähren die elektrischen Schläge. Zur Anwendung derselben bedient man sich am besten der Lane'schen Ladungsflasche, durch welche man die Stärke der Elektricität zu reguliren vermag. Um die Schläge durch einen bestimmten Theil des Körpers zu führen, bringt man diesen Theil zwischen zwei Leiter, wovon der eine mit der äußeren Belegung der Flasche verbunden ist und der andere dem Knopfe der Flasche gegenübersteht.

Die Elektricität beweist sich im Allgemeinen als ein kräftiges Reizmittel für die Nerven, durch welche sie ihre Wirkung auf alle Theile aus-

dehnt, die ihr Leben vorzugsweise der Nerventhätigkeit verdanken. In höherem Grade wirkt die Elektricität auf die Muskeln ein, selbst in gelähmten der Empfindung beraubten Gliedmaßen erregt sie noch bemerkbare Zuckungen. In Folge dieses Nervenreizes wirkt die Elektricität nicht blos auf die eigentlichen Muskeln, sondern auch auf das Gefäßsystem, dessen Thätigkeit sie erhöht und den Zufluß der Säfte nach demselben befördert. Hiernach wird es einigermaßen begreiflich, wie die Elektricität in gewissem Sinne zu einem die Reizbarkeit und Empfindlichkeit wiederherstellenden Mittel werden kann. Man darf deßhalb mehr oder weniger einen günstigen Erfolg von der elektrischen Behandlung in allen Krankheiten erwarten, welche von geschwächtem Nerveneinflusse abhängen, namentlich in allen Arten von Lähmungen; dann in manchen krampfhaften und gichtischen Krankheiten, die noch keine organische Entartungen nach sich gezogen haben; ferner in Krankheiten, welche von der Unthätigkeit der Gefäße herrühren; endlich in nervösen Schmerzen, welche nicht entzündlicher Art sind.

Da die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Elektricität fortpflanzt, ungemein groß ist, so bedarf es eines besonderen Hülfsmittels, um diese Geschwindigkeit zu bestimmen. Ein solches Mittel hat der englische Physiker Wheatstone ausgedacht. Er befestigte auf einem Brette sechs kupferne Kugeln (Fig. 12), welche in drei Gruppen in einer horizontalen Linie

Fig. 12.




nebeneinander lagen. Die beiden Kugeln einer jeden Gruppe, wie a und b, c und d, e und f standen um 3 Millimeter von einander ab, während die Paare jeder Gruppe viel weiter von einander entfernt lagen. Die Kugeln b und c waren durch einen 400 Meter langen und 2 Millimeter dicken Kupferdraht verbunden, was bei den Kugeln d und e eben-

falls der Fall gewesen. An den Kugeln a und f waren zwei Kupferdrähte befestigt, welche mit der äußeren und inneren Belegung einer Leidener Flasche in Verbindung gebracht werden konnten. Alles war aufs Beste isolirt. Im Augenblick der Entladung zeigten sich gleichzeitig drei Funken, einer zwischen den Kugeln c und d, und auf beiden Seiten derselben zwei andere zwischen den Kugeln a und b, f und e. — Um nun zu erfahren, ob diese drei Funken völlig zu gleicher Zeit oder um kleine Zeitintervalle hintereinander auftreten, betrachtete Wheatstone die Funken mittelst eines ebenen Spiegels, welcher sich äußerst schnell um eine in seiner Ebene liegende Achse drehte, die zu der Linie parallel lief, in welcher die Funken entstehen mußten. Da zeigte sich das Bild des mittleren Funkens merklich gegen die Bilder der äußern im Sinne der Rotation des Spiegels verschoben, was auf eine Verspätung des mittleren Funkens schließen ließ. Wheatstone fand, daß die Verrückung des Bildes des mittleren Funkens gegen die Bilder der beiden äußeren $\frac{1}{2}$ Grad betrug. Die Verspätung des mittleren Funkens entsprach also der Zeit, während welcher der Spiegel eine Drehung von $\frac{1}{4}$ Grad zurücklegte: weil, wie in der Lehre vom Lichte gezeigt wird, bei der Drehung eines Spiegels die Winkelgeschwindigkeit des Bildes das Doppelte von der Drehungsgeschwindigkeit des Spiegels macht. — Bei 800 Umdrehungen des Spiegels in der Secunde belief sich mithin jene Zeit auf $\frac{1}{4 \times 360 \times 800}$ Secunden. Da in dieser Zeit die Elektricität einen Weg von 400 Meter zurücklegte, so folgt daraus ihre Geschwindigkeit im Kupferdrahte $= 400 . 4 . 8 . 36$ Kilometer oder etwa 62000 Meilen in der Secunde.

Da die beiden äußeren Funken vollkommen gleichzeitig erscheinen, so muß von jeder der beiden Belegungen gleichzeitig eine Wirkung ausgehen, oder mit anderen Worten die beiden entgegengesetzten Elektricitäten setzen sich auf einmal nach entgegengesetzten Richtungen in Bewegung, um sich an einer mittleren Stelle der Leitung mit einander zu vereinigen. — Ersetzt man bei dem eben angegebenen Versuch den Kupferdraht durch einen gleichdicken Draht von Eisen, so wird die Verrückung des mittleren Funkens beträchtlicher; woraus wir schließen müssen, daß die Natur des Leiters von Einfluß auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität ist. — Dergleichen Resultate können übrigens nur als beiläufige gelten, weil es schwer hält, die Drehungsgeschwindigkeit des Spiegels scharf zu messen und die Verschiebung des Funkenbildes genau abzuschätzen; sie liefern aber immerhin den Beweis, daß die elektrische Entladung auf Bewegung beruht und ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit sehr groß ist. — Es scheint, daß die Spannung der Elektricität auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit keinen Einfluß hat. Bei der Untersuchung der galvanischen Elektricität werden

wir gelegentlich auf diesen Gegenstand wieder zurückkommen, weil sie uns die Mittel darbietet, denselben mit größerer Sorgfalt zu behandeln.

Man befestige auf einer Scheibe von Harz senkrecht zur Ebene derselben einen Metalldraht und streue um ihn gleichmäßig herum ein nicht leitendes Pulver, wie z. B. Lykopodium. Theilt man hierauf dem Draht Elektricität mit, so sieht man das Pulver langsam von demselben sich entfernen in der Weise, daß der von Pulver befreite Raum als Kreis erscheint. Aehnliches zeigt sich bei Anwendung von Glas, Schwefel, Schellack. — Führt man den nämlichen Versuch auf gewissen Krystallflächen aus, so entfernt sich das Pulver nicht mehr nach allen Richtungen hin mit gleicher Geschwindigkeit und die blosgelegte Fläche wird eine Ellipse, deren große Achse bald senkrecht bald parallel zur Hauptachse des Krystalls ist. — Bei Harz, Schwefel, Glas, Schellack ist mithin die Leitungsfähigkeit der Oberfläche nach allen Richtungen gleich. Dagegen zeigt sich bei manchen Krystallen die Oberflächenleitung nach verschiedenen Richtungen ungleich.

Der oben beschriebene Versuch von Wheatstone läßt erkennen, daß das Kupfer dem Durchgange der Elektricität einen geringern Widerstand entgegensetzt als das Eisen. Der Widerstand welchen die Elektricität vom Wasser erfährt, ist größer als der von Quecksilber. Glas und Harz werden, wenn sie mit den Belegungen der Leidener Flasche in unmittelbarer Berührung stehen, allmählig und desto tiefer in ihrem Innern von der Elektricität durchdrungen, je stärker die Flasche geladen ist und je länger sie geladen bleibt. Dergleichen Thatsachen führen uns zu der Ueberzeugung, daß es weder Körper mit absoluter Leitungsfähigkeit, noch Körper mit absolutem Isolationsvermögen gibt. Jeder Stoff setzt dem Durchgang der Elektricität einen gewissen Widerstand entgegen, welcher vom besten Leiter bis zum besten Nichtleiter fortwährend zunimmt. Der beste Leiter und der beste Nichtleiter bilden gleichsam die Endglieder einer Reihe, in welcher jeder Körper nach dem Grade des Widerstandes, den er der Fortpflanzung der Elektricität leistet, seine bestimmte Stelle hat.

## Zweiter Abschnitt.

# Von der atmosphärischen Elektricität.

### 1. Elektrischer Zustand der Atmosphäre.

Die Aehnlichkeit zwischen den Wirkungen der künstlich erregten Elektricität und denen des Blitzes mußten bald auf den Gedanken leiten, daß

der Blitz in den Händen der Natur dasselbe sei, was der elektrische Funke in den unserigen, und daß die großartigen Wirkungen in der Natur nur der Stärke nach von den Erscheinungen verschieden wären, welche wir mit der Elektrisirmaschine hervorbringen. Es kam also zunächst darauf an, diese Vermuthung durch directe Versuche zu bestätigen und die Gewitterwolke auf ihren elektrischen Zustand zu untersuchen. Franklin ließ deßhalb einen mit einem metallenen Stifte versehenen Papierdrachen an einer Hanfschnur in die Höhe steigen. Beim Herannahen einer Gewitterwolke bemerkte er, daß die Fasern der Schnur sich sträubten; er erhielt schnell aufeinanderfolgende Funken, als die Schnur durch etwas Regen genäßt leitender wurde. — Man wiederholte den Franklin'schen Versuch auf eine vollkommenere Weise, indem man statt der Schnur eine übersponnene Metallsaite anwendete, die in eine seidene Schnur von zwei Meter Länge auslief, mittelst deren die Metallsaite und der Draht isolirt waren. Zugleich zog man die Funken mit Hülfe eines metallenen Leiters aus, der mit dem Boden in leitender Verbindung stand und an einem isolirenden Handgriffe gehalten wurde. Man konnte so Funken aus der Leitung ziehen, welche 30 Decimeter lang und 30 Millimeter dick waren und wie Pistolenschüsse knallten. — Zur Nachweisung der atmosphärischen Elektricität kann man sich auch über hochgelegenen Häusern sich erhebender Metallstangen bedienen, an deren unteren Enden Elektroskope angebracht sind, die uns gestatten, die Natur der kundgegebenen Elektricität zu prüfen. Man muß jedoch bei dergleichen Versuchen mit Vorsicht zu Werke gehen, weil sie gefährlich werden können. Es ist daher rathsam, am untern Ende solcher Stangen einen dicken Eisenpfahl zum Theil in die Erde einzusenken, auf welchen bei zu starkem Ausströmen der Elektricität die Entladungsschläge übergehen können. — Richmann, Professor der Physik in Petersburg, ward durch einen heftigen Funken, der aus dem Ende der Metallstange hervorbrach und auf seine Stirn fuhr, plötzlich getödtet, sein Begleiter aber ohnmächtig darnieder geworfen.

Die ersten Beobachtungen über die atmosphärische Elektricität wurden bei Gewitterwolken angestellt. Sehr bald erkannte man aber, daß auch bei heiterem Himmel freie Elektricität in der Atmosphäre vorhanden ist. Die Resultate, wie solche aus den mit der größten Beharrlichkeit von Schübler gemachten Beobachtungen hervorgehen, sind folgende: 1) Bei heiterem Himmel ist die Luft in der Regel positiv elektrisch. 2) Diese Luftelektricität wechselt im Laufe des Tages und zeigt zwei Minima und zwei Maxima. Das erste Minimum findet Nachmittags statt, das zweite gegen Ende der Nacht; das erste Maximum tritt bald nach Sonnenaufgang ein, das zweite kurze Zeit nach Sonnenuntergang. 3) Die Luftelektricität ändert sich auch mit den Jahreszeiten; sie ist im Winter stärker als im

Sommer. 4) Die Elektricität ist in den höheren Luftschichten stärker als in den unteren. An niedrig gelegenen mit Bäumen bewachsenen Orten, in der Nähe von Gebäuden zeigt sich keine Spur von Elektricität. — Bei bedecktem Himmel ist die Luftelektricität vorwiegend positiv, dagegen bei Regen und Schnee bald positiv bald negativ; oft wechseln die beiden Elektricitäten schnell hintereinander. — Die einzelnen Regen sind desto stärker elektrisch, je dichter sie sind; namentlich gibt sich diese stärkere Elektricität bei den sogenannten Platzregen zu erkennen. Oft zeigen die einzelnen Regen blos die eine oder die andere Elektricität, nicht selten aber auch wiederholtes Abwechseln zwischen beiden Elektricitäten. — Wenn man die Wolken in Bezug auf ihren elektrischen Zustand untersucht, so findet man einige positiv, andere negativ elektrisch.

Was die Quelle der atmosphärischen Elektricität anlangt, so ist dieselbe uns unbekannt. Einige Naturforscher wollen die Ursache des elektrischen Zustandes der Atmosphäre in der auf der Oberfläche der Meere, Seen und Flüsse vor sich gehenden Verdampfung suchen. Aus den gründlichen Untersuchungen von Rieß hat sich aber ergeben, daß die bei der Verdampfung auftretende Elektricität einzig und allein von der Reibung der Wassertheilchen gegen Widerstände herrührt, wie es bei der Dampfelektrisirmaschine geschieht, und daß nicht die chemische Trennung, welche die Verdampfung begleitet, Ursache der Elektricitätserregung ist. Es ist daher unstatthaft, die Entwickelung der Elektricität aus der bei der Verdampfung vor sich gehenden Trennung von den darin aufgelösten Stoffen herleiten zu wollen. — Andere glauben als die Hauptquelle der atmosphärischen Elektricität den Vegetationsproceß ansehen zu dürfen. Die mit vieler Umsicht angestellten Versuche von Rieß zeigten aber keine Spur von Elektricität, welche mit Sicherheit auf Rechnung des Wachsens gesetzt werden konnte. Es ist deßhalb der Vegetationsproceß zur Erklärung der atmosphärischen Elektricität unzureichend. — Wieder Andere sehen die Ursache der Luftelektricität in dem Verbrennungsprocesse: die Thatsache, daß der beim Verbrennen von Körpern aufsteigende Rauch positiv elektrisch ist, ist jedoch ebenfalls ungenügend, um das Entstehen einer so beträchtlichen Menge von Luftelektricität zu erklären. — Endlich betrachten andere die Reibung der Lufttheilchen an einander als die Ursache der atmosphärischen Elektricität. Und in der That scheint die Reibung der Wassertropfen an der Luft eine Quelle von Elektricität zu sein; denn je dichter die Niederschläge sind, desto mehr Elektricität liefern die Wassertheilchen. Wenn auch die bloße Reibung der herabfallenden Regentropfen an der Luft Elektricität erzeugen kann, so ist es doch nicht ausgemacht, die Reibung als die alleinige Ursache derselben gelten zu lassen.

Es läßt sich nicht im Geringsten angeben, welchen Antheil jede dieser Ursachen an der in einem bestimmten Zeitpunkte vorhandenen Luftelektricität habe. Von den erwähnten Ursachen kann übrigens ein kleiner Theil der gesammten in der Atmosphäre enthaltenen freien Elektricität herrühren; gewiß ist es aber, daß es viel wirksamere Quellen der atmosphärischen Elektricität gibt, als die vorhin genannten. — Am einfachsten ist es, das Vorhandensein der positiven Elektricität in der Atmosphäre als eine Thatsache hinzunehmen, wie sie aus den Beobachtungen hervorzugehen scheint. Die von der Erdoberfläche aufsteigenden Dunstmassen nehmen die negative Elektricität mit in die Höhe, in den oberen kälteren Regionen zu Wolken verdichtet, bilden sie alsdann die negativ elektrischen Wolken. — Ebenso können die an Bergabhängen liegenden Wolken, welche längere Zeit mit dem Erdboden in Berührung bleiben, sich mit negativer Elektricität laden und dadurch Veranlassung zu dem Entstehen negativ elektrischer Wolken geben. Und in der That sind dergleichen Erscheinungen von Saussure und anderen Meteorologen in den Alpen auf zuverlässige Weise wahrgenommen worden.

Andere Erfahrungen sprechen, wie schon angedeutet worden, wieder dafür, das Auftreten der Elektricität blos als Wirkung von Niederschlägen, von aufsteigenden Luftströmen, der Ausbildung von Wolken, des schnellen Wechsels der Winde anzusehen. Bei langsamen Niederschlägen ist die elektrische Spannung gering, indem ein Theil der freien Elektricität sich allmählig in der Atmosphäre zerstreut, wie beim Conductor der Elektrisirmaschine. Stärker zeigt sich die elektrische Spannung in den Platzregen, die man auch stille Gewitter nennt. Bei schnellen Niederschlägen wiederholen sich die Blitze, deren jeder einen reichlicheren Niederschlag zur Folge hat. Dergleichen schnelle Niederschläge entstehen bei dem plötzlichen Eindringen eines kalten Luftstromes in erwärmte Luft, z. B. wenn im Winter ein kalter Nordost in einen warmen Südwest dringt; es fällt dann öfters nicht blos dichter Schnee, sondern es erscheinen auch Blitze mit kurzen Donnerschlägen. In der tropischen Zone erhebt sich während der Regenzeit eine beträchtliche Menge von Wasserdampf von der Erdoberfläche in die oberen kalten Regionen, in denen er sich bald zu dichtem und schwarzem Gewölk zusammenballt, das sich in Strömen unter Gewitterbildung entladet. Diese Erscheinungen kehren Tag für Tag zu jener Zeit regelmäßig wieder und sind nichts anders als Folgen des in reichlicher Fülle aufgestiegenen Wasserdampfes, der unter dem Ausbruch von Donner und Blitz seinen Rückweg antritt. — Zur Ausbildung eines Sommergewitters in der gemäßigten Zone ist ein feuchter Zustand der Atmosphäre und des Bodens nothwendig. Aus den in die Höhe geführten Dünsten bilden sich die sogenannten Federwolken, die dem Himmel ein weißliches Ansehen geben. Bei der

Herstellung des Gleichgewichtes sinken kalte Luftströme aus der Höhe herab und veranlassen die Bildung der Haufenwolken, aus denen sich Elektricität unter Blitz und Donner entwickelt. Die herabstürzenden Luftmassen sind wahrscheinlich die Ursache des Gewittersturmes, der aus der Wolke weht und in der Regel nur kurze Zeit dauert. — Die Gewitter erscheinen am häufigsten in den Nachmittagsstunden, weil zu dieser Zeit wegen der größten Tageswärme die aufsteigenden Luftströme am dunstreichsten sind. Gebirgsgewitter entstehen oft dadurch, daß die warme Luft an der Wand des Gebirges durch einen lebhaften Südwind zum Aufsteigen genöthigt wird. In Thälern können Gewitter entstehen, wenn die aufsteigenden warmen Luftströme in der Höhe von einem kalten Winde erfaßt werden. Auch die Gewitter bei vulkanischen Ausbrüchen sieht man als eine Folge der hoch aufsteigenden erhitzten und reichlich mit Dünsten beladenen Luftmassen an.

Durch Zusammentreffen zweier Winde von ungleicher Temperatur können im Sommer Gewitter entstehen, wenn die Atmosphäre hinlänglich mit Dünsten versehen ist. Ein solcher Fall ereignet sich, wenn ein kalter Nordwind mit Macht einbricht, nachdem der Südwind längere Zeit herrschend gewesen. Dergleichen Gewitter erscheinen auf der Westseite, meistens tritt nach ihnen ein kaltes nasses Wetter ein. — Auch das stürmische Vordrängen eines kalten Windes durch einen Südwestwind vermag einen raschen Niederschlag mit Blitz und Donner hervorzubringen. Ein solches Gewitter erscheint auf der Ostseite, nach demselben wird die Luft nicht abgekühlt, sondern im Gegentheil wärmer. — Die Wintergewitter trifft man nur in denjenigen Gegenden an, in denen die Luftfeuchtigkeit groß ist; mithin vorzugsweise an den Seeküsten, wenn daselbst die südlichen Winde im Winter längere Zeit vorwaltend gewesen und plötzlich durch stürmische Nordwinde verdrängt werden. — Die Wintergewitter kommen in Norwegen häufiger vor als an andern Orten; in Bergen gibt es mehr Gewitter im Winter als im Sommer; an den Ostküsten des adriatischen Meeres sind die Wintergewitter vorherrschend; im Inneren von Europa erscheinen sie selten, in Moskau fehlen sie ganz, weil die Winter sehr trocken sind.

## 2. Erscheinungen bei Gewittern.

Dem Gewitter geht gemeiniglich ein eigenthümlicher Zustand in der Atmosphäre voran, der Schwüle heißt und sich durch eine drückende Hitze äußert. Diese Hitze schreibt man zu theils einem leichteren Durchlassen der Sonnenstrahlen von Seiten der dunsterfüllten Atmosphäre, welche so ungeschwächter auf die irdischen Körper auffallen, theils einer gehemmten Verdünstung des Schweißes an unserem Körper in Folge der großen

Feuchtigkeit in der Atmosphäre und der darin herrschenden Windstille. Ein solche Schwüle hält manchmal mehrere Tage an, bevor das Gewitter zum Ausbruche kommt; sie geht jedoch, wie gesagt, nicht jedem Gewitter voraus. — Die Gewitterwolke ist Anfangs klein, nimmt aber rasch an Umfang und Dichtigkeit zu, daß sie stellenweise ein schwarzes Aussehen erhält. Selten bleibt eine Gewitterwolke längere Zeit am Himmel allein, sondern es erscheinen deren mehrere, die sich öfters mit einander zu einer einzigen Wolke vereinigen. Die Gewitterwolke hat meistens eine abgerundete Gestalt und zeigt starke Abstufungen in der Beleuchtung; sie schwebt gewöhnlich in geringen Höhen. Doch hat man in den Alpen und in den Pyrenäen Gewitterwolken in einer Höhe von 4800 Meter beobachtet; woraus hervorgeht, daß sich in allen Regionen der Atmosphäre Gewitterwolken bilden können. — Heftige Stürme, die von der Gewitterwolke aus nach allen Richtungen blasen, jagen den Staub in wirbelnder Bewegung auf, verfinstern die Luft und folgen dem Zuge der Wetterwolke. Die Gewitterwolke wird manchmal mit einer Geschwindigkeit fortgetrieben, die 6—24 Meilen in einer Stunde beträgt, nicht immer nach der Richtung, nach welcher der untere Wind weht, sondern öfters nach einer ganz entgegengesetzten Richtung. — Bei jedem Blitze sieht man bedeutende Bewegungen in den Wolken, indem kleine Wolken zu der Hauptmasse eilen, andere davon sich entfernen. Diese Bewegungen sind fast immer von Regengüssen begleitet, nicht selten auch von Hagel. Nach dem Regen vermindert sich die Heftigkeit des Gewitters, weil die Elektricität abgeleitet wird. Erhält die Luft eine erfrischende Kühle, so ist dies ein sicheres Zeichen, daß sich die Luft völlig entladen hat; wenn es nicht der Fall ist, so hat man bald ein neues Gewitter zu gewärtigen.

Der Blitz ist eine elektrische Entladung, welche zwischen entgegengesetzt elektrischen Wolken oder zwischen einer elektrischen Wolke und einem auf der Erde befindlichen Gegenstande erfolgt. Arago unterscheidet drei Arten von Blitzen. Die Blitze der ersten Art sind scharfbegrenzte zickzackförmige Feuerstrahlen von weißer, bläulicher, rother oder violetter Farbe. Sie theilen sich manchmal in mehrere Aeste und fahren fast immer zur Erde herab; weßhalb man diese Art Blitz füglich Blitzstrahl nennen kann. — Die zweite Art ist weniger scharf begrenzt und hat ein schwächeres Licht als die erste Art; ihre Farbe ist meistens röthlich, jedoch auch manchmal blau und violett. Dergleichen Blitze erscheinen öfters mehrere Stunden lang rasch auf einander. — Blitze der dritten Art haben die Gestalt schnell hinfahrender feuriger Kugeln, bei denen die feurige Bahn blos eine optische Täuschung ist. Sie bleiben oft 2—10 Secunden sichtbar, während Blitze der ersten und zweiten Art nur einen Augenblick dauern. Dergleichen Feuerkugeln verschwinden plötzlich mit einem starken Knall, oft ist

auch ihr Verschwinden von keinerlei Geräusch begleitet. Der gemeine Mann pflegt solche Feuerkugeln Donnerkeile zu nennen.

Der **Donner** ist der durch die elektrische Entladung erzeugte Schall. Er ist nicht immer von der nämlichen Beschaffenheit; an dem Orte, wo der Blitz endigt oder einschlägt, hört man einen hellen harten Knall von kurzer Dauer, der rasch auf den Blitz folgt; weiter davon erscheint er als ein prasselndes Geräusch, das von dem eigenthümlichen Rollen des Donners gänzlich verschieden ist. Dieses mehrere Secunden anhaltende Rollen des Donners besteht in einer Reihe aufeinander folgender dumpfer Schläge von verschiedener Stärke und läßt sich mit dem Getöse vergleichen, mit welchem ein schwerer Wagen schnell einen holprigen Weg hinabfährt. Es rührt von dem durch den zickzackförmig fahrenden Blitz gleichzeitig an mehreren von dem Beobachter in ungleichen Entfernungen liegenden Stellen erzeugten Schalläußerungen her, welche derselbe nach einander wahrnimmt, von den näheren Stellen früher, von den entfernteren später. Die Stärke des Schalls hängt ab von der Größe der Compression der Luft, von dem durch den Schall zurückgelegten Wege, von der Anzahl der auf seinem Wege theils von Wolken, theils von Gegenständen auf der Erde bewirkten Reflexionen. Daher kommt es denn auch, daß in Gebirgsgegenden, wo es viele hervorragende Gegenstände gibt, die den Schall zu reflectiren vermögen, der Donner viel anhaltender und heftiger als auf Ebenen ist. — Blitz und Donner entstehen gleichzeitig; man hört den Donner später, weil der Schall sich ungleich langsamer fortpflanzt als das Licht. Der Schall legt bei einer Temperatur von 16 Grad in einer Secunde 340 Meter zurück; es genügt daher, die Anzahl der Secunden, welche zwischen der Wahrnehmung des Donners und des Blitzes verstrichen sind, mit 340 zu multipliciren, und den Abstand der Gewitterwolke von dem Beobachtungsorte, in Metern ausgedrückt, zu erhalten. — Man vernimmt zuweilen einen Donner, ohne vorher einen Blitz bemerkt zu haben. Wahrscheinlich rührt dieser Donner her von der elektrischen Entladung zwischen zwei übereinander gelagerten Wolken, wobei der Blitz nicht durch die untere Wolke hindurchzudringen vermag.

Das **Wetterleuchten** ist theils der Widerschein eines unter dem Horizont befindlichen Gewitters, theils das Resultat schwacher Entladungen, die zwischen Wolken vor sich gehen und bei denen kein Donner gehört wird. — Das **St. Elms-** oder **St. Helenafeuer** ist eine elektrische Lichterscheinung, die häufig an Thurmspitzen, Mastbäumen, Baumspitzen und an andern hervorragenden Körpern beobachtet wird. Sie war schon den Alten unter dem Namen Castor und Pollux bekannt und für sie ein Gegenstand des Schreckens gewesen. — Bei dem langsamen Ausströmen der Elektricität aus einer Wolke kann dieselbe längere Zeit hindurch leuch-

tend erscheinen, ohne daß man einen Donner vernimmt. Einem derartigen elektrischen Leuchten der Wolken ist es zuzuschreiben, daß manchmal bei bewölktem Himmel des Nachts eine größere Helle herrscht, als das durchschimmernde Sternenlicht hervorzubringen vermag.

Gewitter führen häufig Schloßen oder Hagel mit sich. Die äußere Gestalt der Hagelkörner ist pyramidenförmig, an der unteren Seite halbkugelförmig gerundet oder auch eckig; ihre Größe ist verschieden, gewöhnlich kommt sie der einer Haselnuß gleich, manchmal auch der eines Hühnereies; ihr Gewicht wächst nicht selten zu $\frac{1}{4}$ Kilogramm an. — Die Schloßen haben einen undurchsichtigen, milchigen Kern, der von einer durchsichtigen Eisschale eingehüllt ist, in welcher sich wieder mehrere Schneehüllen unterscheiden lassen. Zuweilen findet man auch Hagelkörner, welche fremdartige Substanzen, wie Sand, Spreu, vulkanische Asche, Schwefelkies zum Kern haben. — Die Schloßen kommen sowohl am Tage wie in der Nacht vor, doch sind die Hagelfälle in der Nacht seltener als bei Tage. Zwischen dem 40. und 55. Breitengrade stellt sich der Hagel überall ein, manche Gegenden sind demselben aber mehr ausgesetzt als andere; in niederen Breiten ist er eine Seltenheit; im hohen Norden kommen wohl Graupeln vor, aber keine Schloßen. — Die Hagelwolken haben ein aschgraues oder eigenthümliches gelbliches Aussehen und gehen meistens sehr niedrig. Bei ihrem Herannahen hört man ein rasselndes Geräusch, das in dem Aneinanderschlagen der Hagelkörner seinen Grund hat.

Die wahre Ursache der Hagelbildung läßt sich noch nicht mit Bestimmtheit angeben. Volta nimmt an, daß im Sommer an der Oberfläche der Wolken beim Bescheinen der Sonne Dünste entstehen, die in die Höhe steigen und daselbst sich wieder zu einer zweiten Wolke verdichten, welche mit positiver Elektricität geladen ist, während die untere Wolke negative Elektricität besitzt. Die in der unteren Wolke vor sich gehende Verdünstung bindet Wärme und bringt dadurch die Wassertheile in derselben zum Gefrieren. Die so entstandenen Eisstücke werden zwischen den zwei elektrischen Wolken abwechselnd angezogen und abgestoßen, wobei sich die Körner allmählig vergrößern, bis sie durch die Elektricität der Wolke nicht mehr in der Luft erhalten werden können, wo sie dann herabfallen. — Diese Theorie wird zweifelhaft, wenn man bedenkt, daß es auch vor Aufgang der Sonne, wiewohl selten, schon gehagelt hat. Dann scheint es unwahrscheinlich, daß durch Verdünstung der Wolke eine solche Kälte entstehen kann, um die Tropfen zum Gefrieren zu bringen, zumal da durch die Sonnenstrahlen, welche die Verdünstung veranlassen, die Temperaturerniedrigung ersetzt wird. Ferner ist es nicht begreiflich, daß die Ausgleichung zwischen den entgegengesetzten Elektricitäten der beiden Wolken nicht alsbald eintreten sollte, in-

dem die Hagelkörner eine leitende Verbindung zwischen ihnen herstellen. Endlich hat noch Niemand, so viele sich auch in Hagelwolken befanden, das Oscilliren der Hagelkörner beobachten können. — Wahrscheinlicher ist es die erste Ursache der Hagelbildung in dem raschen Aufsteigen von Luftströmen zu suchen. Die dabei in beträchtliche Höhen geführten Dünste werden daselbst nicht nur tropfbar, sondern gefrieren sogar. Kommen nun lebhafte Luftströmungen hinzu, so können sich die gefrorenen Wasserdünste zu größeren Massen zusammenballen. Auf diese Weise entstehen Hagelkörner, die beim Herabfallen in den unteren wärmeren Regionen schmelzen und als Regen auf der Erde anlangen oder sich wieder in Dünste auflösend gar nicht herabkommen. Nur wenn die unteren Luftschichten sehr feucht sind und die Atmosphäre durch die niedersteigenden kalten Luftmassen abgekühlt worden ist, werden die Körner nicht schmelzen, vielmehr durch Ansetzen von starken Niederschlägen mit Schneehüllen umgeben sein. — Leichte Körperchen, wie Sand, Asche, welche durch den Wind in die Höhe geführt sind, können wohl Mittelpunkte abgeben, um die herum das Eis sich anlegt. Denn das schnelle Anschließen der Flüssigkeit, welche schon nahe daran ist Krystalle zu liefern, ist eine bekannte Thatsache. — Die nach dem Hagelwetter gewöhnlich eintretende Kälte ist erklärlich, wenn man erwägt, daß das Herabkommen des Hagels auf die Erdoberfläche eine hinlängliche Temperaturerniedrigung erfordert. — Der von oben herabstürzende kalte Luftstrom veranlaßt das rasselnde Geräusch vor dem Eintreten des Hagels; zugleich ist er die Ursache, warum die Hagelwolken in geringen Höhen ziehen und die Bewohner der Gebirge öfters Wolken unter sich sehen, aus denen Schlossen in die Thäler herabfallen. — Locale Verhältnisse, welche das Aufsteigen der feuchten Luftmassen befördern, können bei dem Phänomen von großem Einfluß sein und machen, daß manche Gegenden häufiger als andere von Hagelwettern heimgesucht werden.

## 3. Wirkungen des Blitzes.

Die Identität des Blitzes mit dem elektrischen Funken wird auf eine unwidersprechliche Weise dargethan durch sein Verhalten, indem er stets dem besten Leiter folgt und Wirkungen hervorbringt, die man sämmtlich mittelst der Reibungselektricität in kleinerem Maßstabe nachahmen kann. — Der Blitz trifft gewöhnlich die hervorragendsten Punkte und wendet sich vorzugsweise auf Metalle, mögen sie verdeckt oder offen in der Nähe der Punkte liegen, welche er unmittelbar trifft. Es kann sich ereignen, daß der Blitz den metallischen Leiter, welchen er erfaßt hat, verläßt und auf einen andern Körper von geringerem Leitungsvermögen überspringt; es geschieht dies, wenn ihm ein solcher Körper einen Weg darbietet, um schneller zur Erde zu gelangen. — Bei dergleichen Uebergängen werden feste Substanzen

durchbrochen, zerrissen und oft mit großer Gewalt hinweggeschleudert. Man hat häufig gesehen, daß Dächer durch den Blitz abgehoben, Mauern zerstört und die Steine weit hinweggeworfen, Felsen zerspalten und verrückt worden sind. — In Gebäuden, welche vom Blitze getroffen wurden, hat man oft mit mehreren Löchern durchbohrte Glasscheiben vorgefunden, desgleichen Metallplatten mit Löchern, deren Rand nach entgegengesetzten Seiten aufgebogen war.

Der Blitz schmilzt oft dünne Metallplatten oder Drähte, die er auf seinem Wege antrifft. So ist es vorgekommen, daß in Gebäuden durch einen Blitzschlag Klingeldrähte theilweise geschmolzen und die Ueberreste in Form kleiner Eisenkügelchen im gedielten Fußboden eingeschmolzen waren; die Vergoldung der Bilderrahmen vernichtet worden ist, ohne daß dabei das Holz beschädigt wurde. — Selbst Degenklingen und größere Metallstücke zeigten Spuren von angehender Schmelzung an denjenigen Stellen, an welchen der Blitz ein- und austrat. Doch scheint der Blitz bei Metallmassen in der Größe einer Münze und Degenklinge keine vollkommene Schmelzung bewirken zu können. Nach Arago's Untersuchungen mögen die dicksten Metalldrähte, welche die atmosphärische Elektricität gänzlich zu schmelzen vermag, etwa acht Millimeter im Durchmesser haben. — Wenn der Blitz brennbare Körper, Strohdächer, trockenes Holz trifft, so findet eine Verkohlung, meistens sogar eine Entzündung statt. Die zündenden Schläge werden gewöhnlich heiße, die nicht zündenden kalte Schläge genannt. — Schlägt der Blitz in Sand ein, so entstehen aus den geschmolzenen Quarzkörnern die unter dem Namen bekannten Blitzröhren. Solche Röhren sind inwendig vollkommen verglaset, nach außen zusammengesintert, die unteren Stücke sind dünner, weil der Blitz beim Eindringen in den feuchten Boden sich zertheilt und schwächer wird.

Thiere und Menschen werden durch den Blitz beschädigt, gelähmt, häufig getödtet. Es scheint, daß Pferde, Hunde und Schafe dem Blitze leichter unterliegen, als die Menschen. Im Ganzen ist die Summe der durch den Blitz erschlagenen Personen eine geringe, wiewohl das Einschlagen des Blizes in Gebäude öfters vorkommt. — Menschen und Thiere sind manchmal durch eine elektrische Erschütterung betäubt oder getödtet worden, ohne daß ein directer Blitzschlag sie getroffen hat: es ist dies dann in Folge des sogenannten Rückschlages geschehen. Eine elektrische Wolke wirkt nämlich durch Vertheilung auf die in ihrer Nähe befindlichen irdischen Körper, indem sie die ungleichnamige Elektricität derselben anzieht. Wird nun die Elektricität der Wolke plötzlich entladen, so kehren die durch Vertheilung elektrisch gewordenen Körper augenblicklich in den unelektrischen Zustand wieder zurück, welcher Uebergang wie jede rasche Aenderung des elektrischen Zustandes mit einer Erschütterung verbunden ist.

Der Blitz entwickelt auf seinem Wege einen schwefeligen Geruch, der dem des Ozons ganz ähnlich ist, welches durch den Funken der Elektrisirmaschine erzeugt wird. Wenn der Blitz die feuchte Atmosphäre durchschlägt, wird der Wasserdampf zersetzt. Der dadurch frei gewordene Sauerstoff und Wasserstoff verbindet sich mit dem Stickstoff der Luft und bildet dadurch einerseits Salpetersäure, anderseits Ammoniak. — Liebig hat das von verschiedenen Gewitterregen aufgefangene Wasser auf chemischem Wege untersucht und gefunden, daß dasselbe stets salpetersaures Ammoniak enthält. Die chemischen Wirkungen, welche der Blitz wie der Funke der Elektrisirmaschine nur in weit größerem Maßstabe in der Atmosphäre hervorbringt, sind demnach auf unzweifelhafte Weise constatirt. — Arago wirft die Frage auf, ob die durch den Blitz erzeugte Salpetersäure nicht hinreichend sei, das Vorhandensein der natürlichen Salpetergruben zu erklären, welche in gewissen Gegenden vorkommen, in denen keine thierischen Substanzen sich vorfinden. — Ebenso wirft Boussingault die Frage auf, ob das auf Kosten der beiden gasförmigen Bestandtheile der Atmosphäre gebildete salpetersaure Ammoniak, welches durch den Regen in den Erdboden geführt wird, nicht einen günstigen Einfluß auf die Vegetation auszuüben vermöge, namentlich in den Gegenden zwischen den Wendekreisen, wo der Donner ganze Monate hindurch täglich mit Heftigkeit rollt.

## 4. Schutzmittel gegen den Blitzschlag.

Um sich vor Blitzschlägen zu sichern, muß man vor allen Dingen darauf achten, daß man in einem größeren Umkreise nicht der höchste Gegenstand sei; daß man nicht in der Nähe eines hervorragenden Gegenstandes oder eines guten Leiters sich befinde. Daher ist es eine durchaus begründete Warnung', während eines Gewitters unter keinem Baum Schutz gegen den Regen zu suchen. Desgleichen ist es rathsam, sich nicht in der Nähe von Dachrinnen, Glockenzügen zur Zeit des Gewitters aufzuhalten; namentlich aber die Nähe von rauchenden Kaminen sorgfältigst zu vermeiden, weil der aufsteigende Rauch ein guter Leiter ist. — Zahlreiche Vereinigungen von Menschen oder Thieren können beim Gewitter gefährlich werden, weil die Ausdünstung derselben eine aufsteigende Dunstsäule veranlaßt, welche den Blitz zu leiten vermag. Deßhalb ist es auch nicht räthlich, beim Gewitter schnell zu reiten oder zu laufen, sondern stehen zu bleiben oder langsam zu gehen oder nöthigenfalls sich selbst auf die Erde zu legen.

Franklin ist der Erfinder der Blitzableiter, die zum Zweck haben, Gebäude vor dem Blitzschlage zu bewahren, indem sie denselben an sich leiten und unmittelbar zur Erde herabführen. Er besteht aus zwei Haupttheilen, der Auffangstange und der Leitstange. Die Auffangstange ist

eine kegelförmige massive Stange von Eisen, deren unterer Durchmesser 5 Centimeter beträgt und einige Meter über die höchsten Theile des Gebäudes hervorragt; sie ist oben mit einer Platinspitze versehen. Die Leitstange ist ein starker Eisendraht oder besser Kupferdraht, der mit der Auffangstange verbunden ist und an der Außenseite der Mauern abwärts bis zur Erde geht. — Kommen an einem Gebäude größere Metallmassen vor, so müssen solche mit den Blitzableitern in leitender Verbindung stehen, damit kein theilweises Ueberspringen des elektrischen Stromes stattfinde, indem eine derartige seitliche Entladung offenbar Zerstörungen an dem Gebäude zur Folge haben würde. — Die Leitstange darf den Erdboden nicht blos berühren, sondern muß in einen Brunnen oder Teich eintauchen, oder wenn kein Wasser in der Nähe ist, durch einen längeren mit Kohlen ausgefüllten Kanal an einen feuchten Ort fortgeführt werden. — Durch Uebereinstimmung mannigfaltiger der Erfahrung entnommenen Thatsachen ist man berechtigt anzunehmen, daß die schützende Wirkung sich horizontal nach allen Richtungen in einer Ausdehnung erstreckt, welche der doppelten Höhe der Auffangstange gleichkommt. Um ein großes Gebäude vor den Zerstörungen des Blitzschlages zu sichern, muß man es daher mit mehreren Blitzableitern versehen, welche sämmtlich unter sich in leitende Verbindung zu setzen sind. Die Anzahl der Auffangstangen muß so groß sein, daß es auf dem Dache keinen Punkt gibt, dessen horizontaler Abstand von der nächsten Stange das Doppelte der Höhe dieser Stange über ihrer Basis übertrifft; dabei reicht es hin, für je zwei Auffangstangen eine Leitstange anzubringen. — Die Leitstange wird getheert, um sie gegen die Wirkung der Luft und der Feuchtigkeit zu schützen; diejenigen Theile der Stange, welche in feuchtes Erdreich oder in ausgeglühte Kohlen zu liegen kommen, müssen aber möglich freieste metallische Oberfläche haben.

Um Schiffe vor dem Blitzschlage zu sichern, bedient man sich der portativen Ableiter, welche zur Zeit des Gewitters an der Spitze des Hauptmastes befestigt und in die See hinabgeführt werden. Diese Ableiter sind theils Metallketten, welche aus Kupferstäben und verbindenden Ringen bestehen, theils Metallseile, welche aus Kupferdrähten geflochten sind. — In neuerer Zeit kommen auf Schiffen auch feste Ableiter vor. Diese Ableiter bestehen aus zusammengenieteten Kupferstreifen, die in die Masten eingelassen eine metallische Leitung von den äußersten Spitzen der Masten bis zum Kiele des Schiffes bilden; sie sind außerdem mit den Metallbefestigungen der Verdecke und mit dem Kupferbeschlage des Schiffes in innige Verbindung gesetzt.

Manche Leute sind der Meinung, daß große unter freiem Himmel angezündete Feuer gute Mittel seien, den Gewittern vorzubeugen oder sie weniger furchtbar zu machen. Es ist Thatsache, daß aufsteigende Rauch-

säulen die Elektricität leiten und so den Wolken einen Theil ihres Blitzstoffes entziehen können. Wenn jedoch durch dergleichen in die Lüfte sich erhebende Rauchsäulen die Schwächung oder selbst die allmählige Vernichtung des Gewitters erfolgen soll, so wird dies nur geschehen können durch die gleichzeitige Wirkung einer großen Menge von Feuern: denn ein einziges solches Feuer wird höchstens nur die über ihm senkrecht stehenden Wolken ihres Blitzstoffes zu berauben im Stande sein. — Andere sehen den Kanonendonner als ein geeignetes Mittel an, die Gewitterwolken und die Hagelwetter zu zerstreuen. Aus den von Arago gesammelten beglaubigten Thatsachen geht jedoch hervor, daß der Kanonendonner auf die Wolken keinen Einfluß ausübt. — Dafür schlägt Arago vor, festgehaltene mit Blitzableitern versehene Luftballons den Hagelwolken zu nähern. Durch dieses Verfahren glaubt er, daß den Wolken eine reichliche Quantität Blitzstoff entzogen werden könnte, an dessen Vorhandensein die Bildung des Hagels unbestreitbar geknüpft ist. Es wäre für die Landwirthschaft wohl von Interesse, einen Versuch der Art anzustellen. — Gewiß ist der in Rede stehende Vorschlag zweckmäßiger, als der Gedanke, durch hohe Holzstangen, die mit herabhängenden Strohseilen versehen sind, Felder und Weinberge vor dem Hagel zu schützen. Denn einmal ist Stroh ein schlechter Elektricitätsleiter; dann fällt der Hagel auch über Wäldern, deren Bäume höher sind als jene Holzstangen; ferner hagelt es auch in Städten, bei denen viel Blitzableiter vorkommen; endlich müßte man, wenn selbst Metalldrähte statt der Strohseile genommen würden, eine beträchtliche Länderstrecke mit dergleichen Hagelableiter besetzen, falls sie in der rechten Weise wirksam sein sollen.

# Dritter Abschnitt.

# Von der Berührungselektricität (Galvanismus, Voltaismus).

## I. Fundamentalerscheinungen.

### 1. Der Galvanische Versuch.

Im Jahr 1790 beobachtete Galvani, Professor der Anatomie zu **Bologna**, eine merkwürdige Erscheinung, welche den Grund zu dem heutigen Galvanismus legte, einem der wichtigsten Zweige der Physik. Er fand nämlich, wenn an einem frisch getödteten Frosche, dessen Schenkelnerven, die auf jeder Seite der Wirbelsäule als weiße Fäden erscheinen,

mit den Schenkelmuskeln durch zwei heterogene Metalle in Verbindungen gesetzt wurden, daß das Froschpräparat in lebhafte Zuckungen gerieth, die sogleich aufhörten, sobald er die Metalle von demselben wegnahm. — Diese Zuckungen lassen sich einige Zeit nach dem Tode nicht mehr erregen, meistens sind sie schon nach Verlauf von 20 Minuten sehr schwach; auch gehen die durch dergleichen Versuche erschöpften Gliedmaßen schneller in Fäulniß über als die in Ruhe gebliebenen. — Dieselben Versuche gelingen bei allen Thieren, selbst bei abgenommenen Gliedern des menschlichen Körpers; jedoch hält die Reizbarkeit bei kaltblütigen Thieren nach dem Tode länger an als bei warmblütigen. Die Zuckungen erfolgen selten und dann nur schwach, wenn zwischen den Muskeln und den Nerven des Froschpräparats eine leitende Verbindung durch ein völlig gleichartiges Metallstück hergestellt wurde: kleine Unterschiede der Wärme, der Härte, der Glätte und des Glanzes an verschiedenen Stellen des gleichartig erachteten Metalles sind hinreichend dasselbe zu einem wirksamen zu machen.

An dem lebenden Körper lassen sich durch Berührung zweier verschiedenartiger Metalle gleichfalls bemerkenswerthe Erscheinungen hervorbringen. Man bringe die Zunge zwischen ein Stück Zink und ein Stück Kupfer und setze die Metalle außerhalb des Mundes miteinander in Berührung. Man wird dann einen besondern Geschmack empfinden, den jedes Stück für sich allein nicht erregt und der vom Sauren zum Laugenhaften übergeht, wenn man die Lage der Metalle an der Zunge verwechselt. — Stemmt man einen silbernen Löffel gegen den inneren Augenwinkel und einen Zinkstab zwischen die untere Lippe und die Kinnlade, so sieht man einen Lichtschein vor den Augen, in dem Momente, in welchem die Metalle zur Berührung kommen. — Man setze einen lebendigen unverletzten Frosch, dessen Hinterschenkel mit einem seidenen Faden zusammengebunden sind, mit dem Steiß auf Zink. Beim Berühren des Frosches mit Silber sprengt derselbe die Fäden und macht öfters einen ziemlichen Sprung. — Legt man auf eine Zinkscheibe ein Silberstück und darauf einen Blutegel, so nimmt man an demselben keine Unbehaglichkeit wahr, so lange er nur das Silber berührt; wie er aber darüber hinaus an das Zink kommt, prallt er wie vom Schmerze getroffen plötzlich zurück.

Galvani und andere Naturforscher schreiben die bei dem Metallcontact zu Tage getretenen Zuckungen des Froschpräparats wie die in uns erregten Sinnesempfindungen einem dem Organismus des thierischen Körpers eigenthümlichen Agens zu, welches die Elektricitätsleiter durchströme, von den Nichtleitern aber aufgehalten werde: denn niemals zeigten sich dergleichen Zuckungen in den Froschpräparaten, wenn die Communication zwischen den Nerven und Muskeln vermittelst schlechter Leiter der Elektricität bewirkt wurde. Jenes dem thierischen Körper zukommende Agens ward

wegen seiner Verwandtschaft mit der Elektricität die galvanische Elektricität genannt, während die Ursache der Entwickelung dieser Art von Elektricität Galvanismus heißt. — In Bezug auf die galvanische Elektricität stellten die Muskeln der thierischen Körper gleichsam eine Art Leidener Flasche dar, deren eine Belegung die äußere Oberfläche der Muskeln und deren andere Belegung die Nerven bildeten. Mit der Entladung dieser musculösen Leidener Flasche ist jedesmal eine Zusammenziehung der Muskeln verbunden in Folge des Reizes, den die überströmende Elektricität auf die reizbaren Muskelfasern ausübt. — Wenn der Vergleich auch nicht in allen Stücken zutreffen mag, so ist doch durch die mehrjährigen mühevollen Untersuchungen von Du Bois-Reymond das Dasein elektrischer Ströme in sämmtlichen Theilen des Nervensystemes und in sämmtlichen Muskeln aller Thiere unleugbar nachgewiesen worden. Wir werden später bei der physiologischen Elektricität auf diesen Gegenstand wieder zurückkommen.

Volta, Professor der Physik zu Pavia, wiederholte Galvani's Versuche mit besonderem Fleiße und Scharfsinn. Der Umstand, daß die Anwendung zweier sich berührender ungleichartiger Metalle als Schließungsbogen vorzugsweise die Entstehung der Zuckungen begünstigte, bewog ihn, die Berührung heterogener Metalle als die Ursache der entwickelten Elektricität anzunehmen. Das Froschpräparat galt ihm blos als ein sehr empfindliches Stromelektroskop, die durch den Metallcontact erregte Elektricität anzuzeigen. Die solchergestalt hervorgerufene Elektricität wird Berührungselektricität oder Volta'sche Elektricität genannt. Die Körper, bei deren Contact Elektricität entsteht, heißen Elektromotoren, während die Ursache der Elektricitätsentwickelung elektromotorische Kraft oder Voltaismus heißt. — Volta war insofern im Irrthume, als er sich weigerte, das Vorhandensein der thierischen Elektricität anzuerkennen. Doch fest begründet ist die von Volta zuerst entdeckte Thatsache der Erregung von entgegengesetzten Elektricitäten durch die bloße wechselseitige Berührung der sogenannten trockenen Elektromotoren oder Erreger, zu denen alle Metalle und ihre Legirungen, die wohlausgeglühte Kohle und der Graphit, überhaupt alle gute Leiter der Elektricität gehören. — Der von Galvani entdeckte Thatbestand berührt gewissermaßen zwei Gebiete des Galvanismus. Das eine Gebiet macht die Berührungselektricität oder den Voltaismus aus, das andere die thierische Elektricität oder den eigentlichen Galvanismus. Es darf daher nicht befremden, wenn der Physiker das dargebotene Räthsel mehr von der physischen Seite, der Physiolog dasselbe mehr von der physiologischen Seite anzugreifen bestrebt ist.

## 2. Der Volta'sche Versuch.

Die Entwickelung von Elektricität durch die Berührung zweier ungleichartigen Metalle läßt sich auf verschiedene Arten nachweisen, welche Nachweisung man den Volta'schen Fundamentalversuch zu nennen pflegt. Man nehme zwei gleichgroße, ebengeschliffene Platten, die eine von Zink, die andere von Kupfer, mache dann die eine z. B. die Kupferplatte zur Collectorplatte eines empfindlichen Elektroskops und setze die mit einem isolirenden Handgriffe versehene Zinkplatte darauf, so daß sich beide ihrer ganzen Fläche nach metallisch berühren. Hebt man nach einiger Zeit die Zinkplatte in einer zur Kupferplatte genau parallelen Lage ab, so zeigt das Elektroskop negative Elektricität an. — Berühren sich die Platten nur an wenigen Punkten, so wird die Elektricität unmerklich; desgleichen wenn die obere Platte nicht genau parallel von der untern abgehoben wurde. — Der Ausschlag am Elektroskop wird verstärkt, wenn man die aufgehobene Zinkplatte berührt, abermals aufsetzt und abhebt, und diese Operation mehreremal wiederholt. — Nimmt man die Collectorplatte aus Zink und die Oberplatte aus Kupfer, so wird bei Anstellung des Versuches das Elektroskop mit positiver Elektricität geladen.

Man überziehe die Berührungsflächen der beiden Metallplatten von Zink und Kupfer mit einem dünnen Firniß von ganz gleicher Beschaffenheit, am besten mit einem durch eine Auflösung von Schellack in Alkohol bereiteten Firniß. Der Apparat stellt so einen Condensator mit Platten von verschiedenen Metallen dar, welcher weder beim Aufliegen noch beim Abheben der Oberplatte irgend welche Spur von Elektricität zu erkennen gibt. Diese erscheint aber, wenn die untere nicht gefirnißte Fläche der Collectorplatte mit der oberen metallischen Fläche der aufliegenden Oberplatte mittelst eines Kupferdrahtes leitend verbunden wird. Nach dem Abheben der Oberplatte zeigt das Elektroskop negative Elektricität, wenn die Collectorplatte von Kupfer, dagegen positive, wenn sie von Zink ist. — Der Erfolg des Versuchs bleibt ungeändert, wenn man die obere und untere Platte des Condensators durch einen beliebigen andern Metalldraht in leitende Verbindung bringt. — Auch ist es gleichgültig, ob man während der Verbindung den Draht isolirt sein läßt oder nicht. — Bei dem vorhergehenden Versuche begünstigt eine große Berührungsfläche die Wirkung; bei dem hier angeführten Versuche ist es jedoch rücksichtlich des Erfolgs ganz gleich, ob die Berührung des verbindenden Metalldrahts mit der Collectorplatte an vielen oder an wenigen Punkten stattfindet.

Man versehe zwei wohl abgeschliffene Platten von Kupfer und Zink mit isolirenden Handhaben und setze sie mit ihren ebenen Flächen aufeinander; übertrage dann die Elektricität einer der Platten an die aus gleichem

Metall verfertigte Collectorplatte eines guten Condensators. Durch mehrmalige Wiederholung dieser Operation, wobei die andere Platte jedesmal vor dem Wiederaufsetzen mit den Fingern ableitend berührt werden muß, wird man nach dem Aufheben der oberen Platte des Condensators merkliche Anzeigen von Elektricität erhalten, und zwar mit der Kupferplatte Zeichen von negativer, mit der Zinkplatte Zeichen von positiver Elektricität. — Je größer die Oberfläche der Platten ist und je besser ihre Flächen abgeschliffen sind, desto eher tritt die Elektricität ein. — Der Versuch gelingt am besten bei recht trockener Luft, also beim Ausschluß einer chemischen Einwirkung der Feuchtigkeit und einer Oxydation der Metalle, welche letztere in vollkommen trockener Luft bei der gewöhnlichen Temperatur nicht stattfindet.

Man berühre die aus Kupfer bestehende Collectorplatte eines condensirenden Elektroskopes mit einer zwischen den Fingern gehaltenen Zinkstange; das Elektroskop zeigt merkliche Spuren von negativer Elektricität, die nicht zum Vorschein kommen, wenn man eines Kupferstabes statt der Zinkstange sich bedient. — Man erhält die positive Elektricität, wenn man die aus Zink bestehende Collectorplatte des Condensators mit einem nicht isolirten Stücke Kupfer berührt, aber wieder keine Spur von solcher Elektricität, wenn man die Collectorplatte von Zink mit einem mit den Fingern gehaltenen Stück Zink in Berührung bringt. — Der Effect bleibt derselbe, ob die Berührung des Kupferstabes oder der Zinkstange mit der heterogenen Collectorplatte in einer kleinen oder großen Fläche geschieht.

Aus den vorstehenden Versuchen ergibt sich, daß Kupfer und Zink, wenn sie isolirt und im natürlichen Zustande in Berührung miteinander kommen, in entgegengesetzt elektrische Zustände gerathen: das Kupfer erhält eine gewisse Menge negativer, das Zink eine gleiche Menge positiver Elektricität. Die elektromotorische Kraft, in Folge derer von den beiden in Berührung befindlichen Metallen das eine positiv, das andere negativ ist, können wir nicht weiter erklären, wie wir dies auch bei der Elektricität zersetzenden Kraft des Reibens nicht zu thun im Stande sind. — Beide Elektricitäten streben sich mit einander zu vereinigen, die wirkliche Vereinigung verhindert aber die elektromotorische Kraft. So lange die Metalle in Berührung stehen, binden sich die entgegengesetzten Elektricitäten gleichsam einander; sie treten aber aus diesem Zustande des Gebundenseins bei der Trennung der isolirten Metalle heraus und äußern dann einen stärkern Einfluß auf das Elektroskop als zuvor. Die an der Berührungsfläche der Elektromotoren sich bindenden Elektricitäten verhalten sich unter der Einwirkung der elektromotorischen Kraft gleichsam als wären sie durch einen isolirenden Körper von einander getrennt.

Jeder Elektromotor wird durch Berührung mit einem andern nur bis zu einem gewissen endlichen Grade geladen, dergestalt, daß jede weitere Elektricitätsentwickelung aufhört, wenn dieser Grad erreicht ist, vorausgesetzt daß die Elektromotoren in dem nämlichen Zustande verbleiben. Bezeichnet mithin, insofern beide gleich große Elektromotoren isolirt und vor dem Contacte sich in unelektrischem Zustande befanden, $+e$ die elektrische Spannung an dem einen; so wird $-e$ die elektrische Spannung an dem andern sein, weil das Elektrischwerden zweier Elektromotoren durch Berührung blos auf Zersetzung ihrer natürlichen Elektricitäten beruht: es besteht mithin die elektrische Differenz $2e$. — Wird den Elektromotoren eine Elektricitätsmenge mitgetheilt, welche auf jedem Elektromotor die Spannung $E$ erregen könnte; so erscheint an dem einen Elektromotor die Spannung $E + e$ und an dem andern die Spannung $E - e$, wonach sich der Werth für die elektrische Differenz wieder $2e$ herausstellt. — Verbindet man den negativen Elektromotor leitend mit dem Erdboden, so wird beiden Elektromotoren positive Elektricität von der Spannung $E$ zuströmen; wodurch die Spannung auf dem negativen Elektromotor $= 0$ und die auf dem positiven gleich $2e$ wird. — Die Richtigkeit dieser Erörterungen findet darin eine Bestätigung, daß, wenn man eine isolirte Platte mit einer nicht isolirten in Berührung bringt, die erstere stärker elektrisch wird, als wenn beide Platten isolirt gewesen wären.

Setzt man beide Metalle auf einerlei Weise mit dem Erdboden in Verbindung, so zeigt jedes derselben bei der Prüfung mittelst des Condensators die gleiche Stärke der Elektricität, weil die Ableitung für beide Metalle dieselbe ist. — Anders verhält sich aber die Sache, wenn man beide Metalle auf verschiedene Weise mit dem Erdboden in Verbindung setzt, das eine nämlich durch einen guten, das andere durch einen schlechten Leiter. In solchem Falle zeigt sich das Metall, welches mit dem Erdboden durch den schlechteren Leiter in Verbindung steht, bei der Prüfung an dem Condensator stärker elektrisch als das andere Metall. — Dasselbe wird sich ereignen, wenn man der einen Platte mehr Berührungspunkte als der andern mit der feuchten Ableitung nach dem Erdboden gibt. — Desgleichen werden die elektrischen Intensitäten zweier sich berührenden ungleich großer Platten sich umgekehrt wie die Größen dieser Platten verhalten.

Interessant ist folgender von Volta zuerst angestellter Versuch. Er nahm eine recht glatte und ebene Silberplatte, in welcher sich drei kleine Löcher befanden, die in gleichgroßem Abstand von einander ein gleichseitiges Dreieck bildeten. In diese Löcher brachte er von unten auf drei kleine silberne Schräubchen, deren Spitzen kaum $1/5$ Millimeter oder nach Belieben auch mehr oder weniger über die ebene obere Fläche der Platte her-

vorstanden. Auf die silberne Platte legte er nun eine ebenfalls recht glatte ebene Platte von Zink, die von der ersteren nur in drei Punkten berührt wurde. Er fand daß die Zinkplatte positiv, die Silberplatte negativ geladen war. — Hierauf verminderte er das Hervorstehen der Schraubenspitzen über der Silberplatte dergestalt, daß zwischen den Flächen beider Platten ein so kleiner Raum übrig blieb, der das feinste Papier kaum hindurch ließ. Die Elektricitäten der beiden Metallplatten waren beträchtlicher als im vorhergehenden Versuche und kamen denjenigen gleich, welche sich ergaben, wenn beide Flächen einander durchaus berührten. — Der vorstehende Versuch zeigt deutlich, daß die Platten bei Erregung der Elektricität durch Berührung zugleich als Condensatorplatten wirken. Darum erklärlich, weßhalb die Quantität der Elektricität mit der Zahl der Berührungspunkte oder sehr nahen Punkte zunehmen muß. Anders verhält es sich mit der gleichförmig verbreiteten Elektricität, deren Menge unabhängig ist, ob man die Berührung mit einer großen oder kleinen, rauhen oder glatten Fläche herstellt.

Man befeuchte ein Blättchen Papier mit Wasser oder einer Flüssigkeit, welche die Elektricität leitet, aber an den damit in Berührung gebrachten Metallen keine Veränderung hervorbringt, und berühre dann die kupferne Collectorplatte des Condensators nicht unmittelbar, sondern unter Zwischenwirkung dieses feuchten Blättchens mit Zink. Nach Abheben der oberen Condensatorplatte nimmt man keine Zeichen von Elektricität wahr, woraus folgt, daß das feuchte Blättchen durch seine Berührung mit beiden Metallen keine Veranlassung zur Erzeugung merklicher Elektricität gegeben hat.

Bringt man dagegen von einer Verbindung aus Kupfer und Zink das eine Metall mit der Collectorplatte unter Zwischenwirkung des feuchten Blättchens in Berührung, während das andere in der Hand gehalten wird; so gibt der Condensator nach Abheben der oberen Platte das Vorhandensein von negativer oder positiver Elektricität zu erkennen, je nachdem man das Kupfer oder das Zink auf das feuchte Blättchen gelegt hat. Daraus geht hervor, daß das feuchte Blättchen die freie Elektricität des Metalls, mit welchem es in Berührung stand, zum Condensator überzuführen vermochte.

Aus den eben angeführten Versuchen dürfen wir folgern, daß bei Combinationen von Metallen und Flüssigkeiten, wenn letztere an den ersteren keine chemische Veränderung hervorbringen, die Flüssigkeiten sich wie blose Leiter der Elektricität verhalten und unfähig sind, durch eigene elektromotorische Wirkung das Ergebniß der elektromotorischen Wirkung der Metalle unter einander zu stören. — Wenn dagegen Flüssigkeiten merkliche

chemische Aenderungen an der Oberfläche der Metalle hervorbringen, so haben wir es nicht mehr mit einer Combination aus unveränderten Metallen, sondern mit einer Combination aus wirklich veränderten Metallen zu thun. Das elektromotorische Verhalten dergleichen geänderter Metalle kann verschieden von jenem der unveränderten Metalle sein, ja unter Umständen selbst sich als das umgekehrte von dem elektromotorischen Verhältniß der nicht geänderten Metalle herausstellen. — In galvanischem Bezuge lassen sich demnach die Elektricitätsleiter in zwei große Klassen theilen: die eine umfaßt die vollkommenen Elektromotoren oder differente Leiter, bei deren Berührung unter einander eine elektrische Spannung oder elektrische Differenz auftritt. Besonders zeichnen sich die Metalle als Erreger aus. — Die zweite Klasse begreift in sich die unvollkommenen Elektromotoren oder indifferente Leiter, welche bei der Berührung mit andern Körpern keine merkliche elektrische Differenz zeigen. Dahin gehören Wasser, Papier und wie es scheint alle Substanzen, insofern ihre Berührung mit andern Körpern keinen chemischen Effect erzeugt.

Die Stärke der elektrischen Spannung hängt von der materiellen Beschaffenheit der Elektromotoren ab. Die Metalle und einige nicht metallische Körper lassen sich in eine Reihe, Spannungsreihe genannt, zusammenstellen, in welcher sie so aufeinander folgen, daß jeder Körper dieser Reihe mit jedem ihm folgenden durch Berührung positiv, mit jedem ihm vorausgehenden negativ elektrisch erscheint, und zwar die erregte elektrische Differenz desto stärker wird, je weiter die beiden Körper in dieser Reihe von einander abstehen. — Eine solche Reihe in ihrer Aufeinanderfolge vom positivsten Gliede angefangen ist nachstehende: Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Graphit, Kohle. — Die kleinste Aenderung der chemischen Natur oder selbst der Oberfläche der Elektromotoren vermag übrigens den elektromotorischen Rang eines Körpers zu ändern. Zwei ganz gleichartige Zinkplatten z. B. zeigen bei der Berührung keine Spur von Elektricität; wird aber eine davon mit einer Silberplatte nur einmal gerieben, so gibt sie mit der andern in Berührung gebracht unzweideutige Spuren von negativer Elektricität zu erkennen. — Auch scheint es, daß alle feste Körper durch Berührung mit andern elektrische Spannungen hervorzubringen vermögen; sie sind nur ungleich schwächer als jene der Metalle. So werden Kupfer und Zink schwach positiv mit Kreide, hingegen schwach negativ mit Glas. Metallisch reines Zink wird mit Seide positiv, Platin mit Seide negativ elektrisch.

Der oben angeführte Versuch, in Folge dessen die elektrische Spannung zwischen Zink und Kupfer stets die gleiche bleibt, durch welchen Metalldraht man auch die beiden andern Platten mit einander verbinden mag,

bestimmt uns die Resultate hier mitzutheilen, welche sich aus den Versuchen bei der Combination von drei und mehreren Metallplatten ergeben haben. — Legt man zwischen zwei wohl abgeschliffenen Platten von Kupfer und Zink, die mit isolirenden Handhaben versehen sind, eine Bleiplatte, und überträgt dann die Elektricität einer der beiden äußersten Platten an die aus gleichem Metall verfertigte Collectorplatte des Condensators, so wird man bei einerlei Verfahrungsweise an dem Zink und an dem Kupfer ganz dieselbe elektrische Intensität vorfinden, als wenn diese beiden Metalle in unmittelbarer Berührung gestanden hätten. — Dasselbe Resultat würde zu Tage getreten sein, wenn vier oder mehrere verschiedene Metalle in beliebiger Ordnung zwischen Kupfer und Zink gelegt worden wären. — Die elektrische Ladung würde sich als Null herausgestellt haben, wenn man bei dem in Rede stehenden Versuche die beiden Endplatten aus dem nämlichen Metall genommen hätte.

Man denke sich eine Reihe aus beliebigen Metallen A, B, C, D . . . M, von denen A hinsichtlich seines elektrischen Zustandes mittelst eines Condensators untersucht werde, während eins oder mehrere der anderen Glieder mit dem Erdboden in leitender Verbindung stehen. — Wird z. B. D mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt, so zeigt A die elektrische Differenz, welche es durch directe Berührung mit D erhalten würde, gleichsam als wären die übrigen Glieder der Reihe nicht vorhanden. — Bringt man aus der Reihe zwei beliebige Metalle auf einerlei Weise mit dem Erdboden in Verbindung, so stimmt der elektrische Zustand von A mit demjenigen überein, wie er sich bei der directen Berührung von A mit jenen beiden Metallen ergibt. — Werden aber jene zwei Metalle auf verschiedene Weise mit dem Boden in Verbindung gebracht, so wird jederzeit auf A derjenige elektrische Zustand vorwiegend sein, welcher ihm bei seiner directen Berührung mit dem Metall zukommt, das die bessere Leitung nach dem Boden hat.

Aus diesen Versuchen geht deutlich hervor, daß, wenn mehrere vollkommene Elektromotoren unmittelbar mit einander in Berührung kommen, der Erfolg derselbe ist, als wenn nur der erste und letzte Elektromotor direct zusammengebracht wären. — Im Allgemeinen sagt man, daß die elektrische Differenz zwischen zwei beliebigen Gliedern, welche in der verbundenen Spannungsreihe nicht unmittelbar aufeinander folgen, der Summe der elektrischen Differenzen aller in dieser Reihe zwischen den betreffenden Gliedern liegenden gleich ist. — Wenn man sämmtliche Elektromotoren, von Zink bis zur Kohle, in einer Reihe aufeinander legt und sich gegenseitig berühren läßt; so zeigen die Endglieder Zink und Kohle die nämliche elektrische Differenz, als wenn nur diese zwei Körper vorhanden wären. — Auch ist es gleichgültig, in welcher Ordnung die zwischen Zink und Kohle enthaltenen übrigen Stoffe aufeinander folgen, da es nur auf die elektrische

Differenz der äußersten Glieder der in der Spannungsreihe befindlichen Leiter ankommt.

Die elektrische Differenz zwischen den verschiedenen Metallen hat man mittelst guter Condensatoren und empfindlicher Elektroskope numerisch zu bestimmen gesucht. Zu diesem Behufe wurden die beiden Condensatorplatten aus den Metallen verfertigt, deren elektrische Differenz ermittelt werden sollte. — Die elektrische Differenz zwischen Kupfer und Zink gleich 100 gesetzt, ergaben sich für die elektrischen Differenzen zwischen den verschiedenen Metallen folgende Werthe:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Zwischen Zink und Blei | 10 | Zwischen Zink und Silber | 109 |
| Zwischen Zink und Zinn | 58 | Zwischen Zink und Gold | 115 |
| Zwischen Zink und Eisen | 75 | Zwischen Zink und Platin | 123 |
| Zwischen Zink und Messing | 90 | Zwischen Zink und Kohle | 160 |

Diese Werthe haben jedoch nur für reinmetallische Oberflächen Gültigkeit. Denn eine frisch gereinigte Zinkplatte ist positiv elektrisch gegen diejenige, welche einige Tage an der Luft gelegen hat. Desgleichen zeigt eine blanke Bleiplatte gegen eine Kupferplatte geprüft eine größere elektrische Differenz als eine angelaufene Bleiplatte gegen dieselbe Kupferplatte.

## 3. Elektricität durch wechselseitige Berührung fester und flüssiger Körper.

Die Berührung fester Körper mit flüssigen vermag ebenfalls Elektricität zu erregen;. der Name „indifferente Leiter“ für Flüssigkeiten ist darum als ein unpassender zu betrachten. Um das elektromotorische Verhalten der Flüssigkeiten mit den festen Körpern zu untersuchen, bediente sich Pfaff einer heberförmigen Röhre, in welche die zu prüfende Flüssigkeit gegossen wurde; hierauf tauchte er in den einen Schenkel der Röhre das Metall, dessen elektromotorisches Verhalten mit der Flüssigkeit untersucht werden sollte, während er in den andern Schenkel einen Metallstab einsenkte, den er mit dem Finger ableitend berührte; alsdann brachte er das zu prüfende Metall mit der gleichartigen Collectorplatte des Condensators in Berührung. Die Resultate, welche Pfaff aus seinen Versuchen auf diese Weise erhalten hat, sind folgende:

1) Mit wenigen Ausnahmen nehmen alle Metalle für sich einzeln geprüft mit allen Flüssigkeiten, sie mögen reines Wasser, Säuren, alkalische Flüssigkeiten oder Salzlösungen sein, die negative Elektricität an, während die Flüssigkeit die positive Elektricität besitzt. — 2) Die elektrische Differenz ändert sich mit der Beschaffenheit der Flüssigkeit wie mit jener des angewandten Metalls. — 3) Im Allgemeinen werden die mehr positiven Metalle stärker negativ, die mehr negativen Metalle viel weniger negativ.

4) Werden zwei Metalle, deren jedes einzelne für sich negativ geworden wäre, in dieselbe Flüssigkeit getaucht, dergestalt, daß sie einander gegenüberstehen, und dasjenige Metall ableitend berührt, welches mit der Flüssigkeit für sich allein eine stärkere negative Elektricität angenommen hätte; so zeigt nunmehr das weniger negative Metall die positive Elektricität. Die positive Spannung scheint in diesem Falle desto größer, je weiter die beiden Metalle in der Spannungsreihe von einander abstehen.

Wichtig ist das Ergebniß des Versuches, bei welchem zwei gleichartige Metalle einander in derselben Flüssigkeit gegenüberstehen, ohne sich selbst wechselseitig zu berühren. Das eine Metall theilt nämlich der gleichartigen Collectorplatte des Condensators nicht die mindeste Elektricität mit, wenn das andere Metall ableitend berührt wird. Es ist dies ein ähnlicher Fall wie derjenige, bei welchem das zwischen zwei Kupferplatten von gleicher Beschaffenheit liegende Zink keine elektrische Ladung an der Condensatorplatte gestattet. Es scheint demnach das elektromotorische Verhalten zwischen den festen und flüssigen Erregern im Wesentlichen von einerlei Art mit jenem der festen Erreger untereinander zu sein. Die Störung des elektrischen Gleichgewichtes durch Berührung zweier Körper ist nämlich in dem einen wie in dem andern Falle für jedes Paar der Körper an einen bestimmten Grad gebunden, wonach für dasselbe immer die gleiche elektrische Differenz besteht.

Eine ziemlich concentrirte Auflösung von Schwefelkalium zeigt ein anderes Verhalten gegen die Metalle als die vorhin genannten Flüssigkeiten. Die mehr negativen Metalle werden nämlich in jener Auflösung am stärksten negativ erregt, während dies bei den mehr positiven Metallen in den anderen Flüssigkeiten sich ereignete. — Auch werden die positiven Metalle in der Auflösung positiv erregt, wenn ihnen die negativen Metalle darin gegenüber stehen, während die negativen Metalle in den sauren und alkalischen Flüssigkeiten positiv auftreten, wenn ihnen die positiven Metalle gegenüber gestellt sind. — Schwefelnatrium, Schwefelkalcium in Auflösungen angewandt verhalten sich wie Schwefelkalium, nur wirken sie schwächer. — Silber und Kupfer werden mit Schwefelleberauflösungen stark negativ, dagegen nur schwach negativ Blei, Eisen, Zinn und Zink, wenn sie mit derselben in Berührung treten.

Silber und Kupfer werden von der Schwefelleberlösung stark angegriffen: dies darf uns jedoch nicht bestimmen die Stärke der elektrischen Erregung der Stärke des chemischen Angriffes zuzuschreiben. — Denn Zink wird von der Schwefelsäure heftig angegriffen, entwickelt dabei aber eine höchst schwache negative Elektricität; dagegen zeigt es im starken Grade diese Elektricität in einer alkalischen Lösung eingetaucht, welche auf das

Zink nur eine schwache Wirkung ausübt. — Platin wird in concentrirter Salpetersäure positiv erregt, obschon die Säure auf das Metall gar keine chemische Wirkung äußert.

Um das elektromotorische Verhalten der Flüssigkeiten zu untersuchen, schraubte Buff eine nicht gefirnißte Metallplatte auf das Elektrometer, legte auf diese eine möglichst dünne Glasplatte und auf letztere eine Papierscheibe, welche mit der zu prüfenden Flüssigkeit getränkt war. Die Flüssigkeit bildete so gleichsam die obere Condensatorplatte, welche mit der unteren Condensatorplatte durch einen Draht in Verbindung gebracht wurde, der aus dem nämlichen Metalle wie die untere Platte bestand. Einige Ergebnisse, zu denen er bei seinen Versuchen gelangt ist, sind folgende:

Zink wird von Wasser negativ erregt, ebenso Platin, aber schwächer als Zink. — Verdünnte Schwefelsäure erregt Zink und Kupfer negativ, Gold und Platin aber positiv. — Aehnlich verhält sich verdünnte Salpetersäure. — Concentrirte Salpetersäure erregt Platin, Gold, Kupfer, Eisen positiv, das Zink aber kaum merklich negativ, obgleich es von der Säure angegriffen wird. — Die Flüssigkeiten wirken also ebenfalls elektromotorisch, wenn sie mit Metallen in Berührung kommen; doch befolgen sie das Gesetz der Spannungsreihe nicht, mit Ausnahme des Quecksilbers, welches ein den übrigen Metallen analoges Verhalten zu erkennen gibt.

Um die elektrische Erregung zwischen Platin und Wasser mit jener zwischen Platin und Zink zu vergleichen, setzte Buff auf die Glasplatte statt des Wassers eine Zinkplatte und stellte die leitende Verbindung zwischen Zink und Platin durch einen Platinstreifen her. Der Ausschlag war bedeutender als vorhin; Platin wird mithin durch Zink stärker negativ erregt als durch Wasser. — Zink mit reinem Wasser durch einen Kupferdraht in leitende Verbindung gesetzt, wurde positiv geladen, woraus hervorgeht, daß die positive Erregung des Zinks durch Kupfer die negative Erregung des Zinks durch Wasser übertrifft.

## 4. Einfache Volta'sche Kette. (Volta'sches Element.)

Eine Zusammenstellung von zwei Leitern der ersten Klasse mit einem Leiter der zweiten Klasse heißt eine **einfache Volta'sche Kette** oder ein **Volta'sches Element**. Eine Kette heißt **geschlossen**, wenn ihre sämmtlichen Glieder leitend mit einander verbunden sind; dagegen heißt die Kette **offen**, wenn die Leitung unterbrochen ist. — Eine solche einfache Kette erhält man, wenn man zwischen eine Zinkplatte und eine Kupferplatte ein mit einer Salzlösung getränktes Tuch legt und die Metalle mittelst eines Kupferdrahtes in leitende Verbindung setzt. — Eine derartige Kette bekommt man ebenfalls, wenn man ein Stück Kupferblech und ein Stück Zinkblech in ein mit verdünnter Schwefelsäure oder mit Kochsalzlösung

oder mit Kupfervitriollösung gefülltes Glasgefäß stellt, so daß die in der Flüssigkeit befindlichen Theile der beiden Metalle durch dazwischen gelegtes Glas oder Holz verhindert werden einander zu berühren, und hierauf die Metalle außerhalb der Flüssigkeit durch einen Kupferdraht wieder in Verbindung bringt. — Man kann auch einen parallelepipedischen Trog von Kupferblech mit der Flüssigkeit füllen und eine zur Isolirung mit Holzleisten versehene Zinkplatte hineinsetzen und dann die Kette wie in den beiden vorhergehenden Fällen schließen.

In der einfachen Volta'schen Kette findet ein continuirlicher elektrischer Strom statt, so lange die Kette geschlossen ist, weil vermöge der elektromotorischen Kraft die Elektricität an der Berührungsstelle fortwährend entwickelt wird. Diesen Strom hat man sich eigentlich als einen doppelten zu denken, indem die positive Elektricität nach der einen Richtung, die negative Elektricität nach der entgegengesetzten Richtung sich bewegt. — Gewöhnlich faßt man jedoch nur die Bewegung der positiven Elektricität ins Auge. Hiernach geht der Strom, wenn man die freien Enden eines aus Zink und Kupfer bestehenden Metallbogens in eine Flüssigkeit taucht, vom Zink in der Flüssigkeit zum Kupfer und in dem Metallbogen vom Kupfer zum Zink. — Am Froschschenkel gibt sich das Dasein des Stroms nur im Momente der Schließung, zuweilen auch im Momente der Oeffnung der Kette zu erkennen. Bringt man aber zwischen die beiden Enden des Zinkkupferelementes die Zunge, so empfindet man beim Oeffnen und Schließen der Kette eine Zuckung, während des Geschlossenseins derselben jedoch einen andauernden eigenthümlichen Geschmack. — Weil der Strom durch die Vermittelung flüssiger Leiter zu Stande kommt, so wird er öfters hydro-elektrischer Strom genannt.

Wie oben schon gesagt worden, beschränkt sich die Wirksamkeit der elektromotorischen Kraft nicht blos auf die Leiter der Elektricität, sondern sie gibt sich überall zu erkennen, wo zwei Körper von ungleichartiger Beschaffenheit, Leiter oder Nichtleiter, zur Berührung kommen. — Bei Leitern der Elektricität können die in Folge des Contacts entwickelten Elektricitäten noch während der Dauer der Berührung nach entgegengesetzten Richtungen abgeleitet werden, was die elektrische Strömung in dem Volta'schen Element veranlaßt. Schlechte Leiter verhindern diese Bewegung, dafür gestatten sie aber die elektrische Anhäufung durch Reiben. — Die Richtung, nach welcher die elektrische Ausscheidung durch Berührung zweier Körper erfolgt, hängt von deren materiellen Beschaffenheit ab, wobei übrigens die Verschiedenartigkeit der Stoffe von bedeutenderem Einflusse ist als eine blose Aenderung des Oberflächenzustandes der Körper. — Nach Buffs Untersuchungen bleibt die Richtung, in welcher die elektrische Ausscheidung stattfindet, bei denselben Körperflächen unverändert, mögen sie nur in Be-

rührung treten oder aneinander gerieben werden. Hiernach wäre die Trennung der Elektricitäten bei der Berührung sowohl, wie bei der Reibung der nämlichen elektrischen Thätigkeit zuzuschreiben, welche im Augenblicke des Contacts zur Wirksamkeit gelangt. Daß manche Körper durch Druck die entgegengesetzte Elektricität von derjenigen annehmen, welche sie durch Reibung und Berührung erhalten, ist ein höchst bemerkenswerther Umstand, von welchem man bis jetzt keine Rechenschaft abzulegen vermag.

Was die elektrische Strömung oder die Ausgleichung der beiden Elektricitäten beim Geschlossensein der Kette anlangt, so kann man sich denken, daß die Strömung auf folgende Weise vor sich geht. Der durch Berührung positiv elektrisch gewordene Körper wirkt auf die natürliche Elektricität des ihm angrenzenden Theilchens des Schließungskreises, indem er die negative Elektricität anzieht und die positive abstößt. Diese abgestoßene Elektricität wirkt ihrerseits wieder auf die natürliche Elektricität des folgenden Theilchens des Schließungskreises, und dies in ähnlicher Weise fort durch die ganze Länge desselben. — Die negative Elektricität des zweiten Körpers wirkt ebenfalls, aber im entgegengesetzten Sinne auf den mit ihm in Verbindung stehenden Theil des Schließungskreises. Auf diese Weise findet denn in der ganzen Länge des Schließungskreises eine continuirliche Folge von elektrischen Zerlegungen und Wiederzusammensetzungen statt, welche theils an dem Schließungskreise mehr oder minder bemerkliche Veränderungen bewirken, theils ihm besondere Eigenthümlichkeiten mittheilen können, vermöge deren er auf benachbarte Körper den einen oder den andern Effect hervorzubringen im Stande ist. — Wir wollen nun diese verschiedenen Wirkungen des galvanischen Stromes der Reihe nach vorführen. Vorerst sollen jedoch die Mittel zur Sprache kommen, wodurch es möglich wird, die Intensität des elektrischen Stromes zu vermehren; denn die Wirkung, welche ein einziges Volta'sches Element auszuüben vermag, ist immer nur schwach. Durch Zusammenstellung mehrerer einfacher Ketten läßt sich die fragliche Verstärkung der Elektricität erhalten, eine Entdeckung, welche wir dem Scharfsinn Volta's verdanken.

## II. Zusammengesetzte galvanische Ketten oder Rheomotoren.

### 1. Die Volta'sche Säule. — Spannungserscheinungen. — Pole oder Elektroden. — Physiologische Wirkungen.

Die einfachste zusammengesetzte galvanische Kette oder Rheomotor ist die **Volta'sche Säule**. Man erhält sie, wenn man auf ein erstes Plattenpaar Kupfer und Zink eine mit Kochsalzlösung oder mit verdünnter Säure getränkte Tuchscheibe und über diese ein zweites Plattenpaar Kupfer

und Zink in der nämlichen Ordnung wie das erste legt und dies so fortsetzt, dergestalt, daß die Metallplatten und Tuchscheiben eine Säule bilden, in welcher die oberste Platte eine Zinkplatte ist, wenn man mit einer Kupferplatte begonnen hat oder umgekehrt. Damit Kupfer und Zink sich innig berühren, werden meistens die beiden Platten eines jeden Paares zusammengelöthet. Um eine größere Anzahl von Plattenpaaren übereinander schichten zu können, wird die Säule auf einem Postament von trockenem Holz zwischen drei Glasstäben aufgebaut. — Betrachten wir den Erfolg an einer solchen Kupferzinksäule, bei welcher die unterste Kupferplatte ableitend berührt wird, indem wir vorläufig absehen von der elektromotorischen Wirkung zwischen den Metallen und der Flüssigkeit. Die unterste Kupferplatte befindet sich im natürlichen Zustande, während die mit ihr in Berührung stehende Zinkplatte die positive elektrische Spannung 2 e besitzt, wenn wir die durch die elektromotorische Kraft zwischen Kupfer und Zink elektrische Differenz mit 2 e bezeichnen. Die Spannung 2 e pflanzt sich auf den feuchten Leiter und das zweite Plattenpaar Kupfer und Zink fort. Das Zink dieses Paares erhält durch seine Berührung mit dem Kupfer die weitere positive Spannung, indem die negative Elektricität, welche das Kupfer annehmen sollte, durch Ableitung nach dem Boden fließt: die Spannung der zweiten Zinkplatte wird mithin = 4 e. — Diese Spannung läßt sich mittelst des flüssigen Leiters auf ein drittes Plattenpaar übertragen, dessen Kupferplatte die Spannung 4 e und dessen Zinkplatte die Spannung 6 e haben wird. — Fährt man auf diese Weise fort, immer mehr Plattenpaare übereinander zu legen; so werden die Spannungen der freien positiven Elektricität in den Platten von unten nach oben in arithmetischer Progression zunehmen und die oberste Zinkplatte die Spannung 2 n e besitzen, wenn in der Säule n Elemente vorhanden sind.

In Folge der elektromotorischen Thätigkeit werden die zur Construction wirksamer Säulen geeigneten Flüssigkeiten in Berührung mit Zink und Kupfer positiv, die Metalle negativ elektrisch erregt und zwar Zink stärker als Kupfer. Dadurch wird ein zweiter elektrischer Strom hervorgerufen, welcher in der nämlichen Richtung wie der durch die elektromotorische Action der Metalle erregte geht, mithin denselben verstärkt. — Die Erfahrung bestätigt im Allgemeinen die hier angegebene theoretische Ableitung über den elektrischen Zustand der Voltaischen Säule. Denn verbindet man mit dem Condensator eine Platte der Säule, deren unterste Platte null elektrisch ist; so findet man, daß die Intensität der Elektricität der Säule von unten nach oben zu wächst und der Art nach sich gleich bleibt. Doch fehlt es noch an genauen Versuchen, aus denen hervorgeht, daß die Zunahme hierbei wirklich in einer arithmetischen Progression stattfindet. — Bei umgekehrter Anordnung der Metalle in der Säule, deren

unterste eine Zinkplatte wäre, welche ableitend berührt würde, und die mit einer Kupferplatte endigte, bekämen wir eine Säule mit freier negativer Elektricität von abnehmender Stärke nach unten zu. — Baut man Säulen von gleich viel Plattenpaaren, aber mit verschiedenen Flüssigkeiten auf; so sind diese Säulen hinsichtlich der Stärke ihrer Wirksamkeit von einander verschieden. Ein solches Resultat war vorauszusehen: denn einmal werden die Metalle durch manche Flüssigkeiten verändert, was eine Aenderung in dem elektrischen Verhalten der Metalle zu einander zur Folge hat; dann regen verschiedene Flüssigkeiten dieselben Metalle ungleich an, was abermals eine Abänderung in dem elektromotorischen Verhalten der Stoffe nach sich zieht.

Betrachten wir jetzt eine Säule, welche an beiden Enden isolirt ist. Wir nehmen dabei erstens wieder an, daß die Metalle in ihrer Berührung stets nur eine bestimmte elektrische Differenz behaupten können und nicht eher aufhören elektromotorisch aufeinander zu wirken, als bis diese elektrische Differenz vorhanden ist. Zweitens nehmen wir abermals an, daß die durch den Contact entwickelten Elektricitäten gleichförmig auch über die feuchten Leiter und über alle andere Platten verbreiten, die nach der nämlichen Seite mit der in Betrachtung gezogenen Platte liegen. — Hiernach ergibt sich bei einer als vollkommen isolirt angenommenen Kupferzinksäule, deren aufeinanderfolgende Plattenpaare durch feuchte Leiter getrennt sind, wenn die Elektricitätsmenge des Zinks + e, die des Kupfers — e ist, für zwei Plattenpaare folgendes Schema der elektrischen Zustände.

| | K | Z | L | K | Z |
|---|---|---|---|---|---|
| Das erste Element als Erreger, das zweite als Leiter: | — e, | + e, | + e, | + e, | + e. |
| Das zweite Element als Erreger, das erste als Leiter: | — e, | — e, | — e, | — e, | + e. |
| Beide Elemente als Erreger und Leiter: | — 2e, | 0, | 0, | 0, | + 2e. |

Für eine Säule aus drei Plattenpaaren bekommen wir folgende elektrische Zustände der einzelnen Theile:

| | K | Z | L | K | Z | L | K | Z |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Das erste Element als Erreger, die übrigen als Leiter: | — e, | + e, | + e, | + e, | + e, | + e, | + e, | + e. |
| Das zweite Element als Erreger, die übrigen als Leiter: | — e, | — e, | — e, | — e, | + e, | + e, | + e, | + e. |
| Das dritte Element als Erreger, die übrigen als Leiter: | — e, | — e, | — e, | — e, | — e, | — e, | — e, | + e. |
| Die drei Elemente als Erreger und Leiter: | — 3e, | — e, | — e, | — e, | + e, | + e, | + e, | + 3e. |

Eine ähnliche Herleitung kann man bei einer beliebigen Anzahl von Platten-

paaren in Anwendung bringen. Man hat demnach an beiden Enden einer vollkommen isolirten Säule beiderlei Arten von Elektricität, welche nach der Mitte hin in gleichem Grade abnehmen und bei einer geraden Anzahl von Elementen daselbst Null sind. — Vergleicht man die Intensität an jedem Ende der vollkommen isolirten Säule mit der Intensität am isolirten Ende einer Säule von einer gleichen Anzahl von Plattenpaaren, deren anderes Ende mit dem Erdboden in Verbindung steht; so stellt sich die erstere Intensität nur halb so groß als die zweite heraus.

Berücksichtigt man die elektromotorischen Kräfte zwischen den Metallen und den Flüssigkeiten, so wird die elektrische Spannung der einzelnen Glieder größer oder kleiner als die eben angegebene, je nachdem die elektromotorische Kraft der Flüssigkeit jene der Metalle unterstützt oder bekämpft. Die Sache verhält sich hinsichtlich des Erfolgs gleichsam so, als wäre das elektrische Verhältniß zwischen den Metallen in dem ersten Falle stärker in dem zweiten hingegen geringer geworden. — Im Allgemeinen bestätigt ebenfalls die Erfahrung die auf dem Wege der Theorie über die elektrischen Zustände einer vollkommen isolirten Säule gefundenen Resultate, obschon es auch hier wieder an genauen Versuchen fehlt. Wollen wir übrigens bei der Prüfung der fraglichen Gesetze mit Hülfe des Condensators keine Widersprüche gegen die obigen Erörterungen zu Tage treten sehen, so müssen wir den Rath Fechner's befolgen und den Einfluß wohl berücksichtigen, welchen die angewendete Ableitungsgröße der Metallflächen auf die jedesmalige Spannung hat. Durch Anlegung des Condensators an das eine Ende der isolirten Säule wird nämlich die Intensität der daselbst vorhandenen Elektricität mehr oder weniger geschwächt, und unter Umständen selbst auf Null herabgebracht. Anders gestaltet sich die Sache bei Anbringung des Condensators an das eine Ende der Säule, deren anderes Ende mit dem Erdboden in Verbindung steht: hier ist die Ableitungsgröße des Condensators äußerst gering gegen die Ableitungsgröße des Erdbodens, weßhalb die elektrische Spannung an dem Condensator sich bemerklich machen kann. Dies der Grund, warum der Condensator bei kleinen vollkommen isolirten Säulen keine Wirkung zeigt, während er bei Säulen mit gleicher Anzahl von Plattenpaaren, deren einer Pol aber mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt ist, eine starke Wirkung zu erkennen gibt. — Dagegen können beide Enden einer vollkommen isolirten Säule aus einer großen Anzahl Plattenpaaren eine merkliche Elektricität am Condensator anzeigen; hier bieten nämlich die von dem Condensator ab nach dem andern Ende der Säule hinzuliegenden Platten eine hinlänglich große Ableitung dar, so daß für beide Enden der Säule die Ableitung sich gleich verhält, mithin für diese Enden die gleiche Stärke der Elektricität auftreten kann. — Für die Richtigkeit dieser Ansicht sprechen die Ergebnisse folgender zwei Versuche.

8*

Man verbinde jedes Ende einer vollkommen isolirten Säule mit einem besonderen Condensator, die an Güte und Größe einander gleich sind. Man findet dann beide Condensatoren gleich stark geladen und zwar jeden mit derjenigen Elektricität desjenigen Endes, mit welchem er in Verbindung stand. Verbindet man jedes Ende einer isolirten Säule durch Leiter von verschiedener Güte mit dem Erdboden, so zeigt sich das Ende, welches mit der besseren Ableitung versehen ist, stets schwächer elektrisch als das andere.

Die Enden einer Voltaischen Säule nennt man ihre Pole, und zwar den einen den positiven, den andern den negativen Pol. Endiget sich die Säule an beiden Enden mit einem vollständigen Elemente, wie in dem vorhin betrachteten Falle; so befindet sich am positiven Pole eine Zinkplatte, am negativen eine Kupferplatte, weßhalb man ersteren den Zinkpol, letzteren den Kupferpol genannt hat. — Endiget dagegen die Säule beiderseits mit unvollständigen Elementen, in welchem Falle die an den Enden befindlichen Platten als blose Leiter wirken; so bildet die Endplatte von Zink den negativen, die von Kupfer den positiven Pol. Es ist daher besser, den einen Pol den positiven und den andern den negativen zu nennen. — Man betrachtet die Pole gleichsam als die Ein- und Austrittswege der elektrischen Wirkungen, woher es kommt, daß der positive Pol auch die positive Elektrode (Anode), der negative Pol die negative Elektrode (Kathode) genannt wird. — Verbindet man die beiden Pole einer isolirten Säule durch einen Metalldraht miteinander, so entstehen zwei elektrische Ströme, ein positiver und ein negativer, von denen wieder nur der erstere ins Auge gefaßt wird: derselbe geht vom positiven Pol durch den Schließungsleiter zu dem negativen continuirlich vor sich in Folge der ununterbrochen fortdauernden elektromotorischen Thätigkeit der Säule.

Werden die Pole einer Voltaischen Säule nacheinander durch verschiedene Körper verbunden, so ergeben sich interessante Resultate hinsichtlich der Spannung an den Polen. Einige Körper, wie z. B. die Metalle, heben die Spannung beider Pole vollkommen auf; man nennt sie deßhalb vollkommene Leiter. — Andere Körper, wie Glas und Harz, schwächen die Spannung der Pole gar nicht, wenn sie zum Schließen der Kette gebraucht werden; sie können als Nichtleiter in Bezug auf die vorhandene Elektricität angesehen werden. — Wieder andere Körper, wie nasses Papier und mit einer Salzlösung getränkte Tuchscheiben, schwächen die beiden Pole der Säule ohne ihre Wirkung ganz aufzuheben; man nennt sie zweipolige unvollkommene Leiter. — Endlich gibt es Körper, welche nur die Elektricität eines Poles ableiten und die des andern unverändert lassen; man nennt sie einpolige Leiter, und zwar positiv oder negativ ein-

polige, je nachdem sie die Elektricität des positiven oder negativen Poles wegnehmen. Zur ersteren Klasse gehört die Flamme des Alkoholes und des Wasserstoffgases; zur letzteren die trockene Seife und die Phosphorflamme.

Bringt man den einen Pol einer isolirten Säule von einer hinreichend großen Anzahl von Plattenpaaren mit dem inneren Belege und den andern mit dem äußeren Belege einer Leidener Flasche in Berührung, so kann man sie bis zu dem Grade laden, um einen fühlbaren Schlag zu geben. — Dieser Versuch, so wie die Spannungsphänomene überhaupt berechtigen uns, die Berührungselektricität und die Reibungselektricität ihrer inneren Natur nach für einerlei zu halten und die bei ihnen vorkommenden Erscheinungen nicht dem Wesen nach, sondern nur dem Grade nach verschieden zu betrachten. — Die gewöhnliche Elektricität entladet sich mit Leichtigkeit aus Spitzen in die Luft und durchdringt ohne weiteres stark verdünnte und auch erhitzte Luft. Faraday hat nachgewiesen, daß ähnliche Vorgänge auch bei der Entladung Voltaischer Elektricität stattfinden, was abermals einen Beweis für die Identität jener beiden Elektricitäten liefert. — Im Allgemeinen lassen sich die mannigfachen Erscheinungen, welche die Elektricität darbietet, in zwei Klassen bringen, wenn es sich darum handelt, die Elektricitäten verschiedenen Ursprunges miteinander zu vergleichen. Zu der einen Klasse gehören die Spannungserscheinungen, welche in Anziehung und Abstoßung in merklichen Entfernungen bestehen und bei der Reibungselektricität in höherem Grade als bei der Berührungselektricität zu Tage treten. Die zweite Klasse umfaßt die Erscheinungen der strömenden Elektricität, welche wir bald ausführlicher besprechen und ebenfalls bei der Reibungselektricität wahrnehmen werden, wenn sie von der Spannungselektricität zu dem elektrischen Strom übergeht.

Einen interessanten Versuch über eine Spannungserscheinung mit der Voltaischen Säule führt noch Biot in seinem Lehrbuch der Experimentalphysik auf, dessen hier Erwähnung geschieht, als er darauf hinweist, daß bei der Voltaischen Elektricität eine Mittheilung durch die unvollkommenen Leiter stattfindet. Man baue eine Säule von so viel Plattenpaaren auf, daß sie bei ableitender Berührung des einen Pols mit dem andern ein Elektrometer bis zur deutlichen Anzeige zu laden im Stande ist. Diese Säule stelle man auf einen Harzkuchen und daneben auf einen andern Harzkuchen ein Elektroskop. Das Letztere zeigt jedesmal eine Bewegung an, wenn man den einen Pol der Säule ableitend berührt; die Bewegung wird auffallender, wenn man zugleich mit dem Finger der andern Hand das Glas anfaßt, in welchem das Elektroskop eingeschlossen ist.

Verbindet man zwei Säulen in der Art, daß der negative isolirte Pol der einen Säule mit dem positiven isolirten Pole der andern Säule

in Verbindung steht; so erhält man eine Vorrichtung, welche in Betreff des Erfolgs einer einzigen Säule von doppelter Plattenzahl gleich kommt. Von diesem Umstande läßt sich ein vortheilhafter Gebrauch machen, wenn es sich darum handelt, sehr viele Plattenpaare zu einer einzigen Säule zusammenzusetzen. Man hat dann nur nöthig, beliebige viele Säulen nebeneinander in gleicher Höhe, aber in umgekehrter Ordnung auf isolirenden Trägern aufzubauen, dergestalt, daß, wenn bei der einen Säule der positive Pol unten liegt, bei der nächsten der negative Pol unten zu liegen komme; und alsdann die successiven ungleichnamigen Pole miteinander in leitende Verbindung zu setzen. — Verbindet man bei zwei nebeneinander stehenden gleichen Säulen je zwei gleichnamigen Pole miteinander und betrachtet jede dieser beiden Polcombinationen als einen Pol, so bekommt man eine Säule von der doppelten Plattengröße, aber derselben Plattenzahl als jede der einfachen Säule. Dieser Umstand gibt ein passendes Mittel ab, kleinplattige Säulen als großplattige Säulen wirken zu lassen. Werden ferner die beiden ungleichnamigen Pole zweier Säulen von gleich vielen Plattenpaaren, deren beiden anderen ungleichnamigen Pole mit dem Erdboden in Verbindung stehen; so werden die elektroskopischen Wirkungen vollständig aufgehoben. Jede Säule wirkt hier gerade so, als wenn sie ohne Gegenwart der andern mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt wäre. — Werden endlich die beiden gleichnamigen Pole zweier Säulen verbunden, deren beiden anderen gleichnamigen Pole eine Ableitung nach dem Erdboden haben; so hat man wieder zwei Säulen, deren jede gerade so wirkt als wenn die andere nicht vorhanden sei.

Die einfachste Art die Voltaische Säule zu schließen ist die, daß man das Zinkende der Säule in einen Zinkdraht, das Kupferende derselben in einen Kupferdraht ausgehen läßt und diese Drähte in ein Gefäß mit Flüssigkeit leitet, ohne daß sie sich darin berühren. Die Drähte wirken in solchem Falle nur als Fortsetzungen der Platten, an welche sie gefügt sind und die Flüssigkeit im Gefäße wirkt wie die feuchten Scheiben der Säule. — Die Schließungsdrähte oder Rheophoren der Säule werden gewöhnlich nicht von gleichem Metall mit ihren Polplatten genommen, sondern meistens nimmt man sie von Kupfer oder einem beliebigen andern Metalle. Sind z. B. beide Leitungsdrähte von Kupfer, so ist das äußerste Element, in welchem hier Zink von beiden Seiten mit Kupfer in Berührung ist, unwirksam geworden; die Säule wirkt dann gleichsam wie eine Säule, welche ein Plattenpaar weniger als die andere hätte. — Am häufigsten wird die Schließung der Säule durch eine metallische Verbindung zwischen den Polen bewerkstelligt. Bei dieser Anordnung wirkt die Säule gerade so, als wenn das äußerste Kupfer und das äußerste Zink weggelassen wäre. Im vorliegenden Falle ist es folglich angemessen, die Säule

mit unvollständigen Elementen endigen und das überflüssige Paar als Element der Säule an einer andern Stelle eintreten zu lassen. — Schließt man eine beliebige Anzahl in der Mitte der Säule liegender Elemente zu einer Kette für sich, so wird die freie Elektricität, welche die nicht zugleich geschlossenen Pole der Säule zeigen, desto mehr geschwächt, je größer die Anzahl der Elemente ist, die man zur Schließung verwendet hat.

Befeuchtet man die Hände mit Salzwasser und berührt damit die beiden Pole der Voltaischen Säule, so fühlt man im Momente der Schließung der Kette einen zuckenden Schlag, dessen Stärke mit der Anzahl der Platten zunimmt. Der Schlag wird verstärkt, wenn man an den Polen kleine Blechcylinder anbringt und diese in die Hände nimmt, oder die Hände in zwei Schalen mit Salzwasser taucht, die durch Drähte mit den Polen in Verbindung stehen. Beim Oeffnen der Kette erhält man ebenfalls einen Schlag, welcher jedoch schwächer als der Schließungsschlag ausfällt. — Während des Geschlossenseins der Kette empfindet man keine Zuckung, wohl aber bei stärkeren Säulen ein eigenthümliches Gefühl von Contraction, namentlich in den Gelenken. Die galvanischen Ströme können bei längerer Einwirkung ein Brennen auf der Haut hervorbringen und den gesammten Organismus auf auffallende Weise afficiren. — Die Wirkung der Oeffnungs- und Schließungszuckungen kann bedeutend gesteigert werden, wenn man die Oeffnungen und Schließungen schnell aufeinander folgen läßt. Darauf beruht die Wirkung des **Blitzrades** von **Neeff**. Dasselbe besteht aus einer Kupferscheibe, welche um eine metallene Achse schnell gedreht werden kann und mit Einschnitten versehen ist, die mit Ebenholz ausgelegt sind. Ein mit einem Pole der Säule verbundener Metalldraht berührt bei der Drehung der Kupferscheibe bald das Kupfer bald das Ebenholz, während ein zweiter Draht von der Achse der Kupferscheibe nach dem zweiten Pole der Säule geht. Die Enden beider Drähte sind mit Conductoren versehen, welche man in den befeuchteten Händen hält. Wenn der Draht mit dem Ebenholz in Berührung kommt ist der Strom unterbrochen, dagegen geschlossen, wenn der Draht das Kupfer berührt; da nun bei jeder Schließung und bei jeder Unterbrechung der Kette ein Schlag entsteht, so folgen beim raschen Drehen der Scheibe die Schläge sehr schnell aufeinander. — Die Empfindlichkeit für den Reiz des galvanischen Stroms ist nicht bei allen Personen gleich. Es finden in dieser Beziehung auffallende Unterschiede statt, indem Einige gegen den Galvanismus sehr empfindlich sind, Andere starkes Galvanisiren ohne Unbequemlichkeit vertragen können. An wunden Stellen ist die Affection besonders schmerzhaft; auch wirken die Pole nicht gleichmäßig auf den Körper, sondern der positive Pol immer stärker als der negative.

Nicht blos die Gefühlsnerven und die damit in Verbindung stehenden Muskeln, sondern auch die Sinnesorgane afficirt der galvanische Strom auf eine höchst merkwürdige Weise. Bringt man das Auge mit dem einen Pole der Säule und die Mundhöhle mit dem andern Pole in leitende Verbindung, so nimmt man im Augenblicke der Schließung der Kette eine blitzartige Lichterscheinung im Auge wahr. Beim Oeffnen der Kette zeigt sich eine neue blitzartige Lichterscheinung im Auge, welche von der bei der Schließung wahrgenommenen in Bezug auf Helligkeit und Farbe verschieden ist. Derselbe Unterschied gibt sich ebenfalls zu erkennen, wenn die Verbindung des Auges und Mundes mit den entgegengesetzten Polen der Säule bewerkstelligt wird. — Verbindet man beide Ohrhöhlen mit den beiden Polen der Säule, so empfindet man im Augenblick der Schließung eine Erschütterung im Kopfe und während des Geschlossenseins der Kette vernimmt man in den Ohren ein eigenthümliches Geräusch. Bei diesem Versuche muß man jedoch mit Vorsicht zu Werke gehen und höchstens 40 Elemente nehmen. — In der Nase erregt der negative Pol nach Ritter einen Drang zum Niesen, während der positive Pol eine Abstumpfung des Geruches in der Nase bewirkt; im ersteren Falle nimmt man zuweilen einen alkalischen, im zweiten einen sauren Geruch wahr. — Auf der Zunge bewirkt der negative Pol während der Schließung einen alkalischen, der positive Pol einen sauren Geschmack, die im Momente des Oeffnens der Kette sich umzukehren scheinen.

Ein starker galvanischer Strom bringt ebenfalls merkwürdige Erscheinungen bei Menschen und Thieren noch einige Zeit nach ihrem Tode hervor. An einem seit einer Stunde Gehängten, dessen Kopf mit dem einen und dessen Ferse mit dem andern Pole in Verbindung stand, bemerkte man beim Schließen der Kette eine furchtbare Thätigkeit der Muskeln, so daß Wuth, Schreck, Verzweiflung, Angst sich vereint im Gesichte ausdrückten. — Ein kräftiger Frosch wurde so präparirt, daß die hinteren Gliedmaßen am Körper blos mittelst der beiden Cruralnerven hingen; dann der positive Pol einer Säule von acht Elementen mit den Vorderbeinen und der negative mit den Hinterbeinen in Verbindung gebracht. Im Augenblick der Schließung bewegte der Frosch die letzteren, stieß dagegen im Augenblick der Oeffnung einen Schrei unter Verdrehungen aus. Bei entgegengesetzter Anordnung der Pole ließ der Frosch bei Schließung der Kette einen mit Verdrehungen begleiteten Schrei hören, während bei Oeffnung der Kette die Hinterbeine sich bewegten. — Fische, deren Kopf bereits vor einer halben Stunde abgelöst war, sah man beim Schließen der Kette mit dem Schwanze dergestalt schlagen, daß der ganze Körper in die Luft flog. — Eine frische Ochsenzunge mittelst eines eisernen Nagels an

einen Tisch befestigt, zog sich beim Schließen der Kette so stark zusammen, daß der Nagel aus dem Tisch gerissen wurde.

Der Galvanismus ist mit glücklichem Erfolge in solchen Krankheiten angewendet worden, in denen auch die Anwendung der gewöhnlichen Elektricität sich wirksam gezeigt hat. Von den Apparaten, welche zur Erregung Voltaischer Elektricität für medicinische Zwecke besonders construirt sind, wollen wir hier nur der Pulvermacher'schen Ketten erwähnen. Sie bestehen aus einer Reihe von cylindrischen Holzstäbchen, um welche ein Zinkdraht und ein Kupferdraht schraubenförmig gewunden sind, daß sie sich nicht berühren. Der Zinkdraht des einen Elementes ist mit dem Kupferdraht des nächstfolgenden durch einen kleinen Metallring verknüpft. Auf diese Weise bildet das Ganze eine Kette von 100 bis 120 Elementen, an deren Enden oder Polen metallische Handhaben angehakt sind. — Will man einen Strom herstellen, so taucht man die ganze Kette in verdünnten Essig, welcher so den feuchten Leiter zwischen den einzelnen Metallpaaren bildet. — Mit einer solchen Kette erhält man merkliche Erschütterungen, die wegen der Beweglichkeit der einzelnen Glieder aber nicht constant bleiben. — Um die Oeffnungs- und Schließungsschläge zu erhalten, ist die eine Handhabe mit einer Vorrichtung versehen, welche ein mit dem Pole zusammenhängendes Metallstück schnell hin und her bewegt, daß es bald mit der metallenen Handhabe in Berührung steht, bald nicht. Die Unterbrechung des Stromes läßt sich auch dadurch bewerkstelligen, daß man in die Kette eine Glasröhre einschaltet, an deren beiden Enden Kapseln von Blech gekittet sind. An die eine dieser Kapseln ist ein conisch gewundener Spiraldraht gelöthet, der in der Nähe der andern Kapsel sich in einen kleinen Stern von Kupfer endiget. Durch Erschütterung dieses Apparates kommen die Spitzen des Sternes bald mit der Kapsel in Berührung, bald nicht, was die Herstellung und Unterbrechung des elektrischen Stromes zur Folge hat. — Ein Uebelstand ist es, daß bei dem Gebrauche galvanischer Batterien die einzelnen Elemente vor dem jedesmaligen Gebrauche zusammengesetzt und nach dem Gebrauche wieder auseinander genommen werden müssen, um dieselben vor dem Verderben zu schützen. Eine von Stöhrer construirte galvanische Batterie, welche bei dem Gebrauche zu medicinischen Zwecken weniger beschwerlich und weniger veränderlich ist, werden wir später an geeignetem Ort kennen lernen.

## 2. Verschiedene Formen der Volta'schen Säule.

Die Volta'sche Säule hat verschiedene Abänderungen erhalten, theils um sie bequemer für den Gebrauch einzurichten, theils um kräftigere Wirkungen damit hervorzubringen. Der Volta'sche Becherapparat besteht aus einer Anzahl gläserner Gefäße, welche die leitende Flüssigkeit enthalten,

und aus eben so vielen Paaren Metallplatten, deren eine Zinkplatte mit einer Kupferplatte durch einen Metallstreifen verbunden ist. Diese Platten werden in die Glasgefäße in der Art aufgestellt, daß in jedes Gefäß eine Kupfer- und eine Zinkplatte durch die dazwischen befindliche Flüssigkeit getrennt steht. Die Endplatten der beiden äußersten Gefäße communiciren nicht miteinander, dafür sind an ihnen Drähte befestigt, welche zur Schließung der Kette dienen. Das Kupferende bildet den positiven, das Zinkende den negativen Pol des Becherapparates. — Man kann auch jede Zinkplatte durch eine bloße Zinkkugel ersetzen, an welche ein Kupferdraht gelöthet ist, der in einen Bogen gekrümmt und am andern Ende breit geschlagen wird und so zugleich die Stelle der Kupferplatte vertritt. — Dann kann man statt der Zinkplatte eine blose Zinkstange und statt der Kupferplatte einen hohlen kupfernen Cylinder nehmen, wobei jede Zinkstange mittelst eines Bogens an den folgenden Cylinder gelöthet wird. — Endlich lassen sich statt gläserner Gefäße schmale kupferne anwenden, welche in eine Reihe nebeneinander gestellt werden und in deren jedem einzelnen ein Zinkcylinder hinein gestellt wird, der mit dem folgenden kupfernen Gefäße in Verbindung steht. Der Zinkcylinder darf die Kupferzelle nirgends berühren; man gebraucht deßwegen Holzstäbe zur Isolirung der Zinkcylinder. Es ist dies die Grundform der meisten neueren Rheomotoren.

Bei der Wollaston'schen Batterie sind sämmtliche Plattenpaare an einer Holzleiste befestigt, welche zwischen vier Ständern auf- und niedergeschraubt werden kann. Auf diese Weise lassen sich alle Elemente des Apparates zugleich in einzelne mit Säure gefüllte Glasgefäße einsenken und wieder herausheben. Jede Kupferplatte, welche doppelt so groß als die Zinkplatte und um dieselbe herumgebogen ist, ohne sie jedoch zu berühren, hängt mit der Zinkplatte des folgenden Gefäßes durch einen Metallstreifen zusammen. Mit der Kupferplatte an einem Ende der Kette communicirt ein Kupferdraht und mit der Zinkplatte am andern Ende derselben ein anderer Kupferdraht; dieser bildet dann den negativen Pol und jener den positiven. — Zur Füllung der Gefäße nimmt man Wasser, dem $^1/_{12}$ bis $^1/_{20}$ Schwefelsäure zugesetzt wird. — Statt der einzelnen Gläser wendet man auch Tröge an von gebranntem Thon, Steingut oder Porcellan, welche durch Scheidewände in einzelne Zellen getheilt sind, so daß immer ein Plattenpaar in eine Zelle zu stehen kommt. — Es ist nicht gerade nöthig, die einzelnen Elemente in getrennte Zellen zu tauchen, man kann auch sämmtliche Plattenpaare zugleich in einen ununterbrochenen mit verdünnter Säure gefüllten hölzernen Trog einsenken. Die Wirksamkeit der Kette wird zwar dadurch vermindert, doch fällt die Schwächung um so geringer aus, je kleiner die Anzahl der Plattenpaare ist.

Bei der Faraday'schen Batterie werden die aus gewalztem Zink und Kupfer geschnittenen Plattenpaare in einen Holzrahmen befestigt, um alle Elemente in einen mit verdünnter Säure gefüllten Trog senken und nach gemachtem Gebrauche wieder herausheben zu können. Jedes Element besteht aus einer Zinkplatte und einer daran gelötheten Kupferplatte von doppelter Länge. Die Kupferplatte wird dergestalt gebogen, daß die eine Hälfte derselben zwischen der andern Hälfte und der Zinkplatte zu stehen kommt. Hierauf werden die einzelnen Plattenpaare so ineinander geschoben, daß immer eine Zinkplatte von der umgebogenen Kupferplatte des vorhergehenden Plattenpaares umschlossen wird. Die Berührung zwischen der Zinkplatte und den gegenüberstehenden Kupferplatten wird verhindert durch kleine Korkstückchen und die der Kupferplatten unter sich durch Scheiben von gut geglätteter Pappe. Die Batterie endigt auf der einen Seite mit einer Zinkplatte, welche den positiven Pol bildet, und auf der andern Seite mit einer Kupferplatte, an welcher der negative Pol liegt. — Die Faraday'schen Apparate sind desto wirksamer, je näher die einzelnen Platten zueinander stehen, dieselben werden deßhalb durch hölzerne Schraubzwingen fest zusammen gehalten, um sie einander so nahe als möglich bringen zu können. — Zur Flüssigkeit nimmt man ein Gemenge verdünnter Schwefel- und Salpetersäure, etwa auf 200 Theile Wasser 4½ Theile Schwefelsäure und 4 Theile Salpetersäure. — Man kann mehrere solche Apparate entweder hintereinander zu einem Apparate mit einer größeren Anzahl von Plattenpaaren, oder nebeneinander zu einem Apparate von größerer Oberfläche jedes einzelnen Plattenpaares vereinigen.

Hare's Deflagrator besteht aus einem Holzcylinder, auf welchen zwei Platten, die eine von Zink, die andere von Kupfer, spiralförmig aufgewickelt sind, jedoch ohne daß sich die beiden Platten irgendwo berühren. Man kann dieselben durch zwischen gelegte Holzstäbe getrennt halten. — Zur Ladung der Apparate wird meistens verdünnte Schwefelsäure oder verdünnte Salpetersäure oder ein Gemenge aus beiden oder eine alkalische Lauge genommen. — Der Name Deflagrator rührt daher, weil der Apparat besonders geeignet ist, Metalldrähte zum Glühen zu bringen und zu schmelzen. — Will man derartige Apparate zu einer Säule vereinigen, so stellt man sie nebeneinander, indem man sie der Reihe nach mit ihren ungleichnamigen Metallen verbindet.

### 3. Constante galvanische Ketten oder Rheomotoren.

Die bisher erwähnten Apparate gehören zur Klasse der sogenannten veränderlichen, weil der galvanische Strom seine ursprüngliche Stärke nicht für die Dauer beibehält, sondern bald bedeutend an Intensität abnimmt. Diese Schwächung des Stromes hat seinen Grund in der eigenthümlichen

Veränderung, welche die Platten in Folge der chemischen Thätigkeit des Stromes erfahren. Man ist dahin gelangt, diese Veränderung der Platten zu verhüten und damit die Schwächung des Stromes zu beseitigen. Ketten, welche längere Zeit hindurch einen Strom von constanter Wirkung geben, heißen constante Ketten. Wir wollen jetzt einige der wichtigeren constanten Ketten anführen, die Theorie derselben an einem passenden Orte auseinanderzusetzen uns vorbehaltend. — Die Daniel'sche Kette besteht aus einem mit einer Kupfervitriollösung gefülltem Glasgefäße, welches zunächst einen unten und oben offenen Kupferblechcylinder enthält, innerhalb dessen die mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Thonzelle steht, in die dann der amalgamirte Zinkcylinder eingetaucht ist. An den Kupfercylinder sowohl wie an den Zinkcylinder sind oben zwei Kupferstreifen angelöthet, an welche die Schließungsdrähte befestigt werden. — Der Thoncylinder muß von einer feinen porösen Masse sein oder durch eine andere poröse Scheidewand ersetzt werden, welche die Flüssigkeit nur in geringer Menge durchschweißen läßt. Die Amalgamation des Zinks schützt einerseits das Zink vor dem Angriff der Schwefelsäure und macht es anderseits noch positiver, was einen stärkeren Strom zur Folge hat. Man bewerkstelligt die Amalgamation des Zinks indem man es mehreremal in verdünnte Schwefelsäure taucht und hierauf mit Quecksilber übergießt. Um die Kupfervitriollösung stets gesättigt zu erhalten, legt man ein mit Kupfervitriolkrystallen gefülltes Leinwandsäckchen in die Lösung. — Die Daniel'sche Batterie besteht aus mehreren solchen miteinander verbundenen einfachen Elementen, so daß die einzelnen Elemente mit ihren ungleichnamigen Metallen in Verbindung stehen und die freien Enden der Batterie auf der einen Seite durch eine Kupferplatte und auf der andern Seite durch eine Zinkplatte gebildet sind. In jedem einzelnen Elemente geht der positive Strom stets vom Zink durch die Flüssigkeit zum gegenüberstehenden Kupfer.

Die Grove'sche Kette ist aus amalgamirtem Zink und Platin construirt. In einem mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Glasgefäße befindet sich der unten und oben offene Zinkcylinder, innerhalb dessen die poröse Thonzelle steht, welche Salpetersäure enthält, in die das Platinblech eingetaucht ist. Die Salpetersäure muß chemisch rein und namentlich frei von Chlor sein, weil sonst das Platin angegriffen wird. Das Platinblech ist an einem runden Brettchen befestigt, welches den Deckel für die Thonzelle abgibt und das Aufsteigen der salpetersauren Dämpfe verhindert. In diesem Deckel steckt ein Stück Kupferblech, an welchem unten das Platinblech befestigt ist. Oben auf dem Kupferblech sitzt eine Messingklammer und eine ähnliche Klammer auf dem Zinkcylinder. — Mit Hülfe dieser Klammern kann man leicht jedes Platinblech mit dem folgenden Zink verbinden und so die einzelnen Elemente zu einer Batterie vereinigen. —

Verbindet man hingegen durch einen Kupferdraht alle Zinkcylinder, und durch einen zweiten Kupferdraht alle Platinbleche; so erhält man ein Element von großer Oberfläche. Ueberhaupt läßt sich nach Belieben bald eine Batterie von vielen Elementen, bald eine Batterie von wenigen Elementen aber von größerer Oberfläche herstellen, je nachdem die einzelnen Elemente auf verschiedene Weise miteinander combinirt werden.

In der Bunsen'schen Kette wird das negative Platin durch einen Kohlencylinder vertreten. Ein Gefäß von Steingut enthält verdünnte Schwefelsäure, in welchem ein Zinkcylinder und in diesem eine poröse Thonzelle steht. Die Thonzelle ist mit concentrirter Salpetersäure gefüllt, in welche der Kohlencylinder taucht. An seinem oberen Rand trägt der Kohlencylinder einen Kupferring, welcher in einen mit einer Schraube versehenen Kupferstreifen ausläuft, mittelst dessen der Kohlencylinder mit dem folgenden Zink verbunden wird. — Die Kohle bereitet man aus einem Gemenge von zwei Theilen Steinkohlen und einem Theile pulverisirten Coaks, indem man es mit Syrup getränkt in metallene Formen preßt und dann ähnlich wie Töpferwaaren brennt.

Ersetzt man das elektronegative Metall durch Eisen, welches in starke Salpetersäure eingetaucht wird; so erhält man die sogenannte Callan'sche Kette. Das Eisen überzieht sich nämlich unter dem Einflusse einer concentrirten Salpetersäure mit einer stark elektronegativen Schichte, welche den weiteren Angriff der Säure hindert. — Eine Callan'sche Batterie oder eine von Zink in verdünnter Schwefelsäure und von Eisen in concentrirter Salpetersäure aufgebaute Batterie wirkt fast eben so kräftig wie eine Bunsen'sche.

## 4. Gasbatterie. — Ladungssäulen. — Trockene Säulen. — Bohnenberger's Elektroskop.

Grove hat auch eine interessante, für den Gebrauch aber nicht geeignete Kette aus zwei Gasen construirt. Eine mit drei Hälsen versehene Glasflasche füllt man mit verdünnter Schwefelsäure, verschließt hierauf die beiden seitlichen Hälse durch zwei Glasröhren. Diese Glasröhren sind unten offen, am oberen verschlossenen Ende ist aber ein starker Platindraht eingeschmolzen, welcher oben ein Platinnäpfchen trägt und nach unten zu in ein mit Platinmoor überzogenes Platinblech ausläuft. Alsdann läßt man durch die mittlere Oeffnung der Flasche mittelst eines Gasentbindungsrohres in die eine Röhre Sauerstoffgas und in die andere Wasserstoffgas aufsteigen, jedoch nur so weit, daß die unteren Enden der Platinbleche noch von der Schwefelsäure umgeben sind. Endlich verschließt man die mittlere Oeffnung der Flasche durch einen Glasstöpsel. Dieser so vorgerichtete Apparat bildet eine einfache Gaskette, bei welcher das über dem Sauerstoff

befindliche Näpfchen zum positiven, das andere zum negativen Pol wird. — Um eine Gasbatterie zu construiren stellt man zwischen zwei isolirenden Stäben mehrere solcher Apparate nebeneinander auf und verbindet je zwei ungleichnamige Pole derselben durch Metalldrähte. Auf diese Weise endiget der Apparat auf der einen Seite mit einer Sauerstoffröhre und auf der andern mit einer Wasserstoffröhre.

Wenn man eine Säule abwechselnd aus einerlei Metallplatten und angefeuchteten Papierscheiben aufbaut, so erhält man eine sogenannte Ladungssäule oder secundäre Säule. Wird nämlich eine solche Säule mit den Polen einer Volta'schen Säule in Verbindung gesetzt, so zeigt sie nach einiger Zeit, wenn sie von derselben getrennt wird, an dem einen Ende positive, am andern negative Elektricität. Wenn man die secundäre Säule entladet, so ladet sie sich von selbst wieder eine gewisse Anzahl von Malen.

Man kann aus lauter festen Leitern eine Säule construiren; eine solche Säule heißt im Gegensatze der Voltaischen, welche einen flüssigen Leiter enthält, eine trockene Säule; trockene Säulen hat man aus verschiedenen Körpern gebaut; die bekannteste Säule dieser Art ist die von Zamboni. Sie besteht aus blosem Goldpapier, das auf der Papierseite mit Braunstein eingerieben ist. Gewöhnlich bringt man mehrere Hundert oder selbst mehrere Tausend solcher Platten in gehöriger Ordnung in eine Glasröhre und schließt dieselbe mit metallenen Fassungen, welche mit den Enden der Säule in leitender Verbindung stehen und so die Pole der Säule bilden. — Stellt man zwei solche gleich starke Säulen nebeneinander, so daß sie sich ihre entgegengesetzten Pole zukehren, und bringt dann ein isolirtes Pendel aus einem leitenden Material mit dem einen Pole in Berührung; so wird es von diesem Pole abgestoßen und von dem andern angezogen, hierauf von dem letztern wieder zu dem erstern hingestoßen. Auf diese Weise kann das Pendel in eine andauernde oscillirende Bewegung gerathen.

Bohnenberger hat diese Eigenthümlichkeit der trockenen Säule zur Construction eines empfindlichen Elektroskopes benutzt. Auf einem Fuße von Holz stehen zwei trockene Säulen in einer Entfernung von 10 Centimeter voneinander, so daß ihre ungleichnamigen Pole nach oben gerichtet sind. In der Mitte zwischen diesen beiden Polen hängt ein isolirtes Goldblättchen, welches in Ruhe bleibt, so lange es im neutralen Zustande sich befindet, weil es von beiden Polen mit gleicher Stärke angezogen wird. Theilt man ihm aber etwas Elektricität mit, so wird es von der ungleichnamigen Elektricität angezogen und von der gleichnamigen nach derselben Richtung abgestoßen. Man ist daher im Stande, aus der Bewegung des Goldblättchens das Vorhandensein der Elektricität zu erkennen und ihre

Beschaffenheit zu bestimmen. — Fechner legt eine einzige Zambonische Säule horizontal und läßt von ihren Polen Metalldrähte ausgehen, die in Platten endigen, zwischen denen das untere Ende des Goldblättchens hängt.

## III. Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes.

### 1. Galvanische Wasserzersetzung. — Voltameter. — Anderweitige directe Zersetzungen. — Zersetzungen durch schwache elektrische Ströme.

Schon bei der Reibungselektricität haben wir gesehen, daß sie chemische Wirkungen auszuüben vermag. Im höheren Grade doch bringt derartige Wirkungen hervor die galvanische Elektricität, nicht etwa weil ihre Natur von jener der Reibungselektricität verschieden wäre; sondern darum, weil der galvanische Strom ein continuirlicher, die Entladung der Reibungselektricität dagegen eine momentane ist. — Die erste galvanische Zersetzung war die des Wassers, welche im Jahr 1800 von den beiden englischen Physikern Carlisle und Nicholson ausgeführt wurde. Ein passender Apparat zur Wasserzersetzung ist ein Glasgefäß, durch dessen isolirenden Boden zwei Platindrähte gehen, welche bis zu einer gewissen Höhe in das Gefäß hineinragen, sich jedoch nicht berühren dürfen. In das Gefäß gießt man schwach gesäuertes Wasser und stülpt dann über jeden Platindraht eine besondere mit derselben Flüssigkeit, unten offene und oben geschlossene graduirte Glasröhre. — Sobald man die Platindrähte mit den beiden Polen der Säule in Verbindung bringt, entwickeln sich Gase in unmittelbarer Nähe der Drähte und steigen in den graduirten Röhren empor: bei Oeffnung der Kette hört die Gasentwickelung sofort auf. Das an der positiven Elektrode auftretende Gas ist Sauerstoffgas, das der negativen Elektrode entsprechende Wasserstoffgas: das letztere beträgt dem Volumen nach gerade das Doppelte von dem ersteren, sie erscheinen mithin in dem Verhältnisse wie solches die Wasserbildung fordert. — Wegen dieses Umstandes hat die positive Elektrode der Volta'schen Säule auch die Benennung Sauerstoffpol und die negative die Benennung Wasserstoffpol erhalten.

Auf ähnliche Weise zerlegt der galvanische Strom viele andere zusammengesetzte Stoffe. Die galvanische Zersetzung selbst nennt Faraday Elektrolyse und jeden Körper, welcher durch den elektrischen Strom direct zersetzt werden kann, einen Elektrolyten. — Die beiden Bestandtheile, in welche der Elektrolyt zerfällt, nennt er dessen Jonen, und zwar den elektropositiven Bestandtheil, welcher an der positiven Elektrode oder Anode auftritt, das Anon, und den elektronegativen Bestand-

theil, welcher an der negativen Elektrode oder Kathode erscheint, das Kation. — Wasser ist demnach ein Elektrolyt; Sauerstoff und Wasserstoff sind die Jonen; ersterer das Anion, letzterer das Kation.

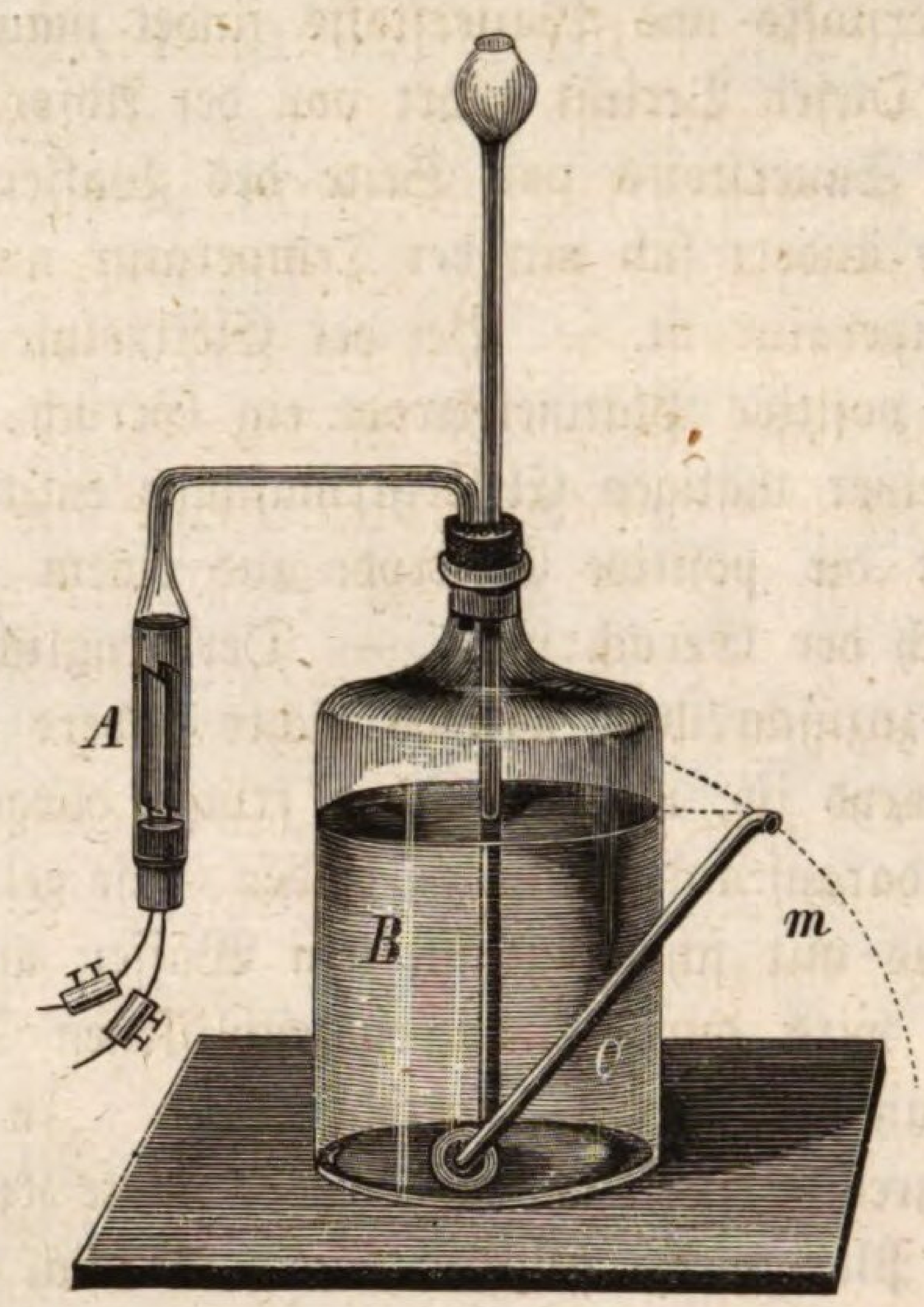
Wir wollen jetzt in Kürze einiger Umstände erwähnen, welche bei der Wasserzersetzung durch die Säule in Betracht kommen. Zunächst ist die Entfernung der in die Flüssigkeit tauchenden Platindrähte von einander von Einfluß auf die Stärke der Wasserzersetzung. Die Zersetzung nimmt nämlich mit Entfernung der Leitungsdrähte ab, mit deren Näherung dagegen zu. Bei hinlänglich starken Säulen kann jedoch die Gasentwickelung ohne Unterbrechung vor sich gehen, wenn die Leitungsdrähte in großer Entfernung voneinander stehen. — Die Gasentbindung ist um so lebhafter, je größere Oberfläche die Leitungsdrähte dem Wasser darbieten; weßhalb anstatt der Platindrähte jetzt Platinplatten zu den Elektroden genommen werden. — Endiget sich der vom positiven Pol ausgehende Leitungsdraht im Wasser in ein leicht oxydirbares Metall, z. B. Eisen oder Kupfer; so erhält man weniger Sauerstoff, weil der aus dem Wasser abgeschiedene Sauerstoff sich sogleich mit diesem Metalle verbindet. — Im Allgemeinen wird die Wasserzersetzung um so mehr befördert, je positiver das an der positiven Elektrode und je negativer das an der negativen Elektrode angebrachte Metall ist. Hiernach dürfte ein Draht von Zink an der positiven Elektrode und ein Draht von Platin an der negativen Elektrode vielleicht am wirksamsten sich erweisen.

Vielfache Versuche sind angestellt worden, um den Einfluß zu ermitteln, welcher das Leitungsvermögen der Flüssigkeit auf die Wasserzersetzung ausübt. Das vollkommen reine Wasser wird auf galvanischem Wege nur langsam zersetzt; wenn man aber nur einige Tropfen Schwefelsäure zugießt, wodurch sein Leitungsvermögen erhöht wird, beginnt eine lebhafte Gasentwickelung. — Die Gasentbindung steht übrigens in keinem bestimmten Verhältniß zu dem Leitungsvermögen, welches die Flüssigkeit durch die Zumischung von Substanzen erhält. Denn eine stärkere Zumischung schwächt manchmal die Wasserzersetzung, während eine geringere sie vermehrt hatte. — Ein ähnliches Verhalten zeigen verschiedene Flüssigkeiten in verschiedentlich verdünntem Zustande: bei den einen nimmt die Gasentwickelung zu, mit Verdünnung von ihrem Concentrationszustande; bei andern dagegen nimmt sie ab, wenn die Flüssigkeit verdünnt wird. — Auch kann die Gasentbindung durch Temperaturerhöhung der zu zersetzenden Flüssigkeit bedeutend verstärkt werden. So erhielt man aus schwach gesalzenem Wasser, dessen Temperatur auf 60° C. erhöht wurde, beinahe die doppelte Gasmenge von derjenigen, welche die Flüssigkeit bei einer Temperatur von 10° C. in derselben Zeit gegeben hatte.

Bei einer sorgfältigen Messung der Volumina des durch die Elektrolyse gelieferten Sauerstoffs und Wasserstoffs findet man immer etwas zu wenig Sauerstoff. Dieser Verlust rührt von der Absorption eines Theils des ausgeschiedenen Sauerstoffs von Seite des Wassers her. Die verloren gehende Menge ändert sich mit der Temperatur und ist desto größer, je niedriger die Temperatur ist. — Bei der Elektrolyse des Wassers entwickelt sich um die positive Platinelektrode ein Geruch, welcher mit dem an dem Conductor einer thätigen Elektrisirmaschine entstehenden viel Aehnlichkeit hat. Besteht die positive Elektrode aus einem direct oxydirbaren Metalle, so zeigt sich der Geruch nicht. — Der fragliche Geruch ist dem sich bildenden Ozon zuzuschreiben, welches nichts anders als ein gasförmiges Wasserstoffsuperoxyd ist, wie dies schon früher dargethan wurde.

Wenn es nicht darauf ankommt, die beiden Gase getrennt aufzufangen, bedient man sich eines mit schwachgesäuertem Wasser angefüllten Glasgefäßes. Das Gefäß wird durch einen eingeschliffenen Stöpsel von Blei geschlossen, welcher an drei Stellen durchbohrt ist. In zwei dieser Oeffnungen sind Glasröhren gekittet, in denen zwei starke Kupferdrähte stecken, an welche platinirte Platinbleche gelöthet sind, die sich parallel möglichst nahe gegeneinander überstehen. Die innerhalb des Gefäßes befindlichen Theile der Kupferdrähte sind durch einen Siegellacküberzug vor der Berührung mit der sauren Flüssigkeit geschützt und deren aus dem Gefäße hervorragenden Enden mit Klemmschrauben versehen, durch welche sie mit den Polen der Säulen in Verbindung gesetzt werden. In der dritten Oeffnung steckt ein gekrümmtes Rohr, welches das entwickelte Gas nach einer graduirten Röhre leitet. — Man nennt einen solchen Apparat, wie auch den vorhin beschriebenen zum Auffangen der getrennten Gase, ein **Voltameter**. Eine zweckmäßige Form hat das von Mohr angegebene Voltameter, welches in Figur 13 abgebildet ist. A ist die das gesäuerte Wasser enthaltende Zersetzungszelle, in welche der Strom durch zwei Platinplatten geleitet wird. Das entwickelte Gas wird in die mit Wasser oder Quecksilber gefüllte Flasche B geleitet, in deren Boden ein Kork dicht befestigt ist, in welchem die unter einem rechten Winkel gebogene Glasröhre C sich dreht, so daß sie in jeder Lage stehen bleiben kann. — Wenn die Oeffnung in der Röhre C in gleicher Höhe mit dem Niveau der Flüssigkeit liegt, schreitet man zur Gasentwickelung und bemerkt sich den Stand der Uhr in diesem Momente. Hat die Wasserzersetzung eine bestimmte Zeit lang fortgedauert, so unterbricht man den Strom und läßt durch Neigen der Röhre C noch so viel Wasser ausfließen, bis die Spannung der äußeren und inneren Luft gleich ist. Die dem Volumen oder dem Gewichte nach bestimmte Menge des ausgeflossenen Wassers läßt auf die aus der Elektrolyse entspringende Gasmenge schließen. — Um die ge-

Fig. 13.




messenen Gasvolumina miteinander vergleichen zu können, ist es nöthig, sie auf einerlei Luftdruck und auf einerlei Temperatur zu beziehen. In der Regel werden die Gasvolumina auf den Druck von 760 Millimeter Quecksilber und auf die Temperatur von 0° C. reducirt.

Wir sind gewohnt die Größe von gleichartigen Naturkräften nach den Wirkungen zu schätzen, welche sie in einer bestimmten Zeit hervorbringen, vorausgesetzt, daß eine derartige Wirkung der Kraft proportional sei. Dies thun wir auch bei den elektrischen Strömen, indem wir jedem Strome eine bestimmte elektrolysirende Kraft zuschreiben, vermöge derer er in einer festgesetzten Zeit ein gewisses Quantum Wasser zu zersetzen im Stande ist. — Leitet man den Strom einer hinlänglich starken Volta'schen Batterie durch einen Wasserzersetzungsapparat, so wird man während einer gewissen Zeit eine gewisse Menge Gas erhalten. Nöthigt man denselben Strom durch zwei dergleichen Zersetzungsapparate zu gehen, so bekommt man in jedem gleich viel Gas; aber binnen derselben Zeit bedeutend weniger als im vorhergehenden Falle, wo der Strom nur durch einen Apparat geleitet wurde. Führt man denselben Strom durch drei Wasserzersetzungsapparate, so erhält man in allen gleich viel Gas; aber während der festgesetzten Zeit wieder weniger als bei Anwendung von zwei dergleichen Apparate. Bei Vermehrung der Zersetzungsapparate wird die Elektrolyse bald so schwach, daß keine meßbare Quantität Gas mehr entwickelt werden kann. Die nach und nach eingeschalteten Zersetzungsapparate bringen nämlich einen

solchen Widerstand in der Kette hervor und schwächen den Strom dergestalt, daß dessen bestimmte elektrolysirende Kraft nicht zur Geltung zu kommen vermag. — Aus demselben Grunde kann ein einfaches Zinkkupferelement kein Wasser zersetzen; die in der Kette vorhandenen Widerstände zusammengenommen übertreffen nämlich die in ihr obwaltende elektromotorische Kraft, deren Größe sich durch die Zerlegung einer bestimmten Menge Wasser während einer festgesetzten Zeit zu erkennen gibt. — Mit einem Grove'schen Elemente läßt sich indessen auch Wasser zerlegen, weil dessen elektromotorische Kraft größer ist als der Widerstand in dem Elemente, mithin dem Strom noch eine gewisse elektrolysirende Kraft übrig bleibt, die noch ein bestimmtes Quantum zu zerlegen vermag.

Theilt man den Leitungsdraht, nachdem er zu einem Zersetzungsapparat geführt hat, in zwei gleich lange und gleich breite Theile von der nämlichen materiellen Beschaffenheit, schaltet hierauf in jeden derselben einen neuen Zersetzungsapparat ein, läßt dann die beiden Theile wieder in eine Drahtleitung zusammenkommen, so erhält man bei Anwendung einer kräftigen Volta'schen Batterie in den beiden letzteren Zersetzungsinstrumenten gleich viel Gas und die Summe dieser Gasmengen entspricht genau dem Gasquantum in dem erstern Zersetzungsapparat. Der Strom theilt sich nach seinem Durchgange durch das erste Zersetzungsinstrument in zwei gleiche Ströme, deren jeder nur halb so stark als der ungetheilte Strom ist: es wird mithin jeder der getheilten Ströme nur die Hälfte des von dem ungetheilten Strome zersetzten Wassers zerlegen können. — Hätte man in die wieder vereinigte Drahtleitung noch einen vierten Zersetzungsapparat eingeschaltet, so würde man in demselben und in dem ersten Zersetzungsapparate gleich viel Gas erhalten haben. Wir sehen hieraus, wie die Menge des in einer bestimmten Zeit durch Wasserzersetzung gewonnenen Gases ein Maß der Stromstärke abgeben kann. Das Voltameter ist also ein elektrochemischer Strommesser oder wie man auch sagt ein elektrochemisches Rheometer. — Als Einheit der Stromstärke nimmt man gewöhnlich denjenigen Strom an, welcher in einer Minute ein Cubikcentimeter Knallgas von der Dichtigkeit liefert, welche der Temperatur 0° und dem Drucke von 760 Millimeter Quecksilber entspricht. — Bemerken müssen wir jedoch, daß die Anwesenheit des Voltameters im Schließungskreise auf die bestehende Stromstärke von bedeutendem Einfluß ist. Die von dem Voltameter für zwei verschiedene Ströme angegebenen Stärken können demnach den elektromotorischen Kräften nur in so weit als proportional angenommen werden, als letztere solche beträchtliche Widerstände zu überwinden haben, daß die vom Voltameter herbeigeführten dagegen zum Verschwinden kommen.

Im Jahr 1807 ist es Davy gelungen, durch einen kräftigen galvanischen Strom die Alkalien und Erden, welche man damals noch für einfache Stoffe gehalten hatte, in Sauerstoff und ihre metallische Bestandtheile zu zersetzen. Man lege ein Stück feuchtes Kali auf eine Platinplatte, welche mit dem positiven Pole der Säule verbunden ist, und berühre es von oben mit einem den negativen Pol der Säule bildenden Platindrahte. Das Kali wird durch den galvanischen Strom zersetzt; sein Sauerstoff entwickelt sich an der positiven Platinplatte, an dem negativen Platindraht erscheinen kleine silberweiße Metallkügelchen, die an der Luft sehr bald ihren Metallglanz verlieren. Bringt man den Draht mit den anhängenden Kügelchen ins Wasser, so verschwinden sie unter Explosion, indem sie dem Wasser den Sauerstoff entziehen und dadurch wieder zu Aetzkali werden. Das aus dem Kali ausgeschiedene Metall ist Kalium genannt worden. Nur in vollkommen sauerstofffreien Flüssigkeiten, wie Steinöl, kann das Kalium vor fernerer Oxydation geschützt werden. — Mit Aetznatron gelingt der Versuch schneller, weil das Natrium sich nicht so schnell oxydirt wie das Kalium. Taucht man den negativen Poldraht mit den anhaftenden Natriumkügelchen in Wasser, so erfolgt keine Detonation, sondern nur eine lebhafte Entwickelung von Wasserstoffgas. — Auf ähnliche Weise hat man aus der Kalkerde das Calcium, aus der Magnesia das Magnesium, aus dem Baryt das Baryum, aus der Thonerde das Aluminium ausgeschieden. — Um das Kalium mit mehr Sicherheit aufzufangen, kann man nach Seebeck wie folgt verfahren. Man macht in das Stück kaustischen Kalis, welches zerlegt werden soll, eine Höhlung und gießt in diese Quecksilber. Hierauf wird das Kali auf eine mit dem positiven Pole der Säule in Verbindung stehende Platinplatte gelegt und das negative Drahtende in das Quecksilber getaucht. Die Zersetzung geht bald vor sich; der Sauerstoff wird an der Platinplatte frei, während das Kalium sich mit dem Quecksilber zu einem beständigen Amalgam bildet. Durch Destillation in einer mit Steinöldampf gefüllten Röhre kann man dann das Quecksilber abscheiden und das Kalium im reinen Zustande erhalten.

Leicht lassen sich die meisten Metalle aus ihren Chlorverbindungen ausscheiden. Wenn man Chlorsilber oder Chlorblei in einem flachen Glasgefäße über einer Weingeistlampe schmilzt, dann in die geschmolzene Masse die aus Platin bestehenden Polardrähte der Säule taucht; so entwickelt sich am positiven Drahte Chlorgas, an dem negativen tritt aber Silber oder Blei auf. — Wenn das Chlorgas die Substanz des positiven Polardrahtes angreift, so entweicht es nicht, sondern es verbindet sich mit dem Metall. — Bunsen hat in neuerer Zeit die leicht oxydirbaren Metalle, deren Oxyde die Alkalien und Erden bilden, aus ihren geschmolzenen Chlor-

verbindungen galvanisch ausgeschieden. Schmilzt man ein Gemenge von 2 Aequivalenten Chlorcalcium oder von 1 Aequivalent Chlorstrontium und 1 Aequivalent Chlorammonium in einem Porcellantiegel zusammen und taucht in die geschmolzene Masse ein Kohlenstäbchen als positiven Pol und einen Eisendraht als negativen; so scheiden sich am letzteren hellgelbe Kügelchen von Calcium oder Strontium aus, während am ersteren Chlor auftritt. — Auf ähnliche Weise hat Bunsen Natrium, Lithium, Magnesium dargestellt.

Läßt man einen galvanischen Strom durch eine Salzlösung gehen, so erscheint die Säure am positiven, die Basis am negativen Pole. Die Zerlegung der Salze kann man dem Auge auf folgende Weise sichtbar machen. Man fülle eine U förmig gebogene Röhre mit einer Salzlösung, z. B. mit einer Lösung von schwefelsaurem Kali, und tauche auf der einen Seite den positiven, auf der andern den negativen Polardraht in die Flüssigkeit. Die Schwefelsäure erscheint an der positiven Elektrode, das Kali an der negativen. Hat man der Lösung etwas Lackmustinctur zugesetzt, so findet man sie in dem einen Schenkel durch die ausgeschiedene Säure hellroth, im andern das ausgeschiedene Kali tiefblau gefärbt. — Vertauscht man hierauf die Pole, so stellt sich allmählig die ursprüngliche violette Färbung wieder her; dann aber erscheint Roth da, wo vor der Vertauschung blau war, und umgekehrt.

Anders wie die Alkalisalze verhalten sich bei der galvanischen Zersetzung die Salze der schweren Metalle, wie des Kupfers, Zinks u. s. w. Taucht man z. B. die aus Platin bestehenden Polplatten einer Säule in schwefelsaures Kupferoxyd, so zeigen sich Schwefelsäure und Sauerstoff beide an der positiven Elektrode; dagegen erscheint an der negativen blos metallisches Kupfer, und nicht Kupferoxyd und Wasserstoff. — Die Gasentwickelung kann man am positiven Pol zum Verschwinden bringen, wenn man zum Leitungsdraht Kupfer statt Platin nimmt.

Zu chemischen Zersetzungen ist nicht immer eine zusammengesetzte Kette nöthig; man kann auch durch schwache elektrische Ströme dergleichen Zerlegungen bewerkstelligen. Am leichtesten wird Jodkalium zersetzt. Man tauche eine Platinplatte, an welcher ein Platindraht befestigt ist, in ein mit verdünnter, etwas Salpetersäure enthaltende, Schwefelsäure gefülltes Gefäß. Das andere Ende des zweimal rechtwinklig gebogenen außerhalb des Gefäßes befindlichen Platindrahtes drücke man auf ein mit Jodkaliumlösung befeuchtetes Stück Fließpapier, das auf dem horizontalen Theil einer rechtwinklig gebogenen Zinkplatte liegt, deren verticaler Theil ebenfalls in der Flüssigkeit steht. Das Jodkalium wird sofort zersetzt und das Jod tritt am Ende des Platindrahtes auf, der positiven Elektrode. Durch die Berührung des Platins und des Zinkes mit der Jodkalium-

lösung wird noch ein zweiter entgegengesetzter Strom hervorgerufen, welcher von dem Zinke durch die Jodkaliumlösung nach dem Platin geht. Er ist aber der schwächere, so daß das Uebergewicht des ersteren Stromes über den andern die Wirkung bestimmt.

Den vorigen Versuch ändere man in folgender Weise ab. Der an das Zink gelöthete Platindraht werde mit dem Jodkalium in Berührung gebracht und zugleich damit der an die Platinplatte befestigte Platindraht. Wenn alsdann die Platten in die Säure des Gefäßes getaucht werden, so erfolgt gleichfalls Zerlegung des Jodkaliums, die Jonen erscheinen aber in umgekehrter Ordnung. Wir haben hier eine gewöhnliche galvanische Kette aus Zink und Platin, in welcher der Strom von dem Zink durch die Säure nach dem Platin geht, so daß das Ende des an das Zink gelötheten Platindrahtes sich als negative Elektrode zeigt, mithin bei der Zersetzung des Jodkaliums daselbst das Alkali auftritt. Dieser Strom wird noch unterstützt durch den in gleicher Richtung gehenden Strom, welcher von der negativen Erregung des Zinks und der positiven des ihm gegenüberstehenden Platins durch die Säure herrührt.

Ueberhaupt kommen elektrochemische Zerlegungen in der Natur häufiger vor, als man beim ersten Blicke glauben möchte. Wo verschiedenartige Körper sich berühren, entsteht ein elektrischer Strom, der von chemischen Wirkungen begleitet ist. Berührt man eine in Wasser liegende Silbermünze mit Zink, so entwickeln sich unaufhörlich kleine Bläschen von Wasserstoffgas. — In Salzsäure entbindet sich an einer Zinkstange wenig Gas; eine rasche Gasentwickelung tritt aber ein, sobald das Zink mit einer in der Säure liegenden Platinplatte in Berührung kommt. — Kupfer in Salzwasser getaucht oxydirt sich; mit Zink zusammengelöthet wird es darin nicht angegriffen. Hierauf beruht Davy's Erfindung, das kupferne Beschläg der Schiffe durch angelöthete Zinkplatte vor der Zerstörung zu schützen. — Eisen wird durch Ueberzug von Zink vor dem Rost geschützt; es ist dies das sogenannte galvanische Eisen.

Wein schmeckt aus einer zinnernen Kanne anders als aus einem gläsernen Gefäße, weil die Feuchtigkeit der Lippen und der Wein eine galvanische Kette bilden, welche durch das Zinn zur Entladung kommt. — Bleierne Wasserleitungsröhren werden am ersten an jenen Stellen durch abgesetzten Kalk verstopft, an denen sie zusammengelöthet sind. — Quecksilber mit einem andern Metalle gemischt, oxydirt sich leichter als in reinem Zustande. — Auch thierische und pflanzliche Stoffe erleiden durch den galvanischen Strom bedeutende Veränderungen, welche vielleicht von der Zersetzung des in jenen Stoffen enthaltenen Wassers und der in ihnen vorkommenden Salzbestandtheilen herrühren mögen.

## 2. Die Galvanische Polarisation. — Passivität des Eisens.

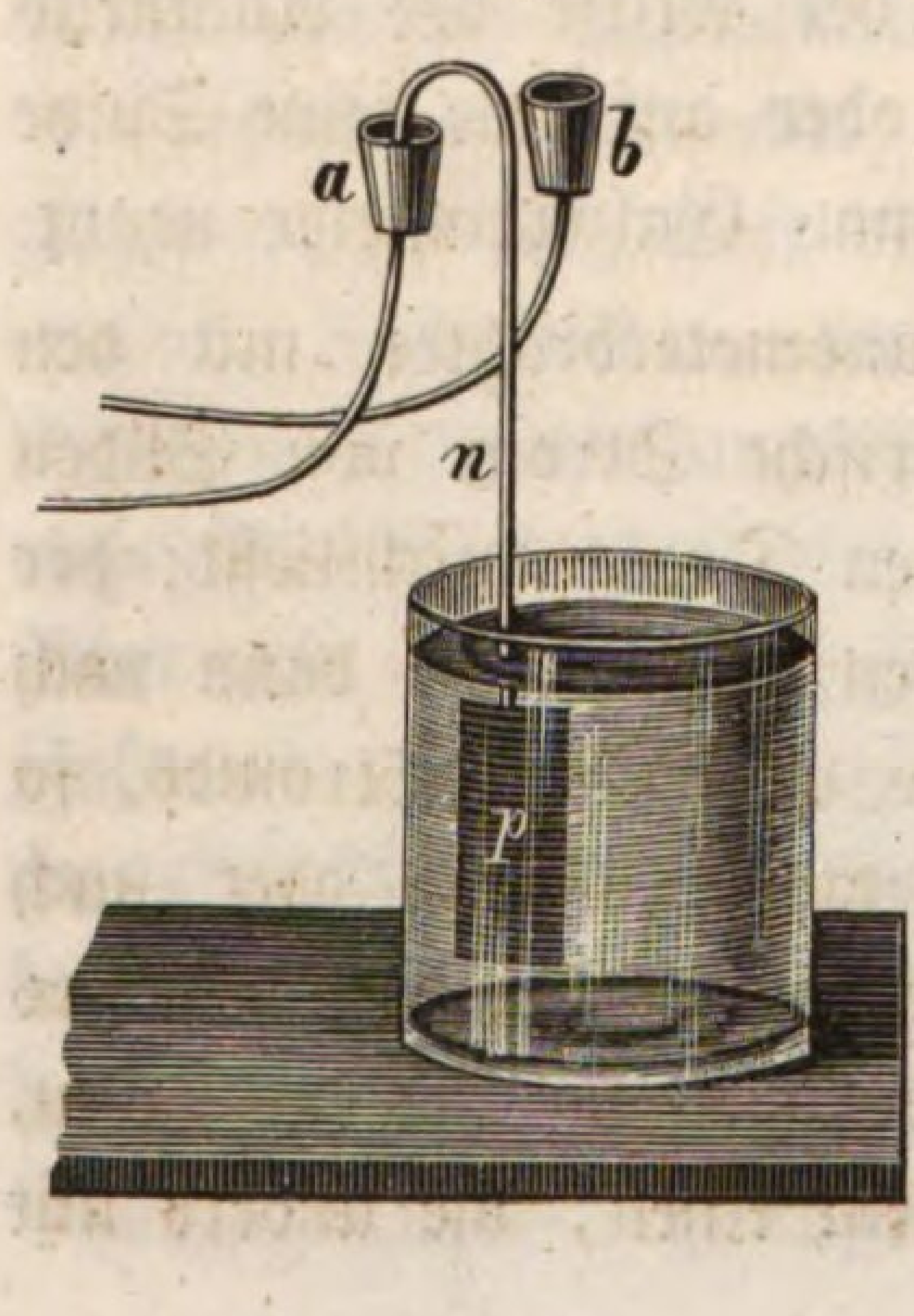
Durch Einwirkung des elektrischen Stromes werden die Polardrähte, wenn sie längere Zeit als Elektroden gedient haben, verändert, indem die Bestandtheile der zwischen ihnen befindlichen zersetzten Flüssigkeiten auf den Oberflächen der Drähte abgelagert wurden. So haben wir gesehen, daß bei der Elektrolyse des Wassers an der positiven Elektrode Sauerstoff, an der negativen Elektrode Wasserstoff ausgeschieden wird; daß bei der elektrochemischen Zersetzung der Salzlösungen die Basen am negativen und die Säuren am positiven Pole ausgeschieden werden. Hierdurch überziehen sich die Elektroden mit dünnen Schichten dieser Körper, die sie in verschiedene Elektromotoren umwandeln können. — Um die in Rede stehenden Veränderungen besser zu erläutern und in helleres Licht zu setzen, bedienen wir uns des Galvanometers oder des elektromagnetischen Rheometers, eines Instrumentes, welches uns gestattet, die Gegenwart selbst der schwächsten elektrischen Ströme zu erkennen und ihre Richtung zu bestimmen, und auf welches wir später bei der Lehre vom Elektromagnetismus noch besonders zurückkommen werden. — Vor der Hand möge folgende Andeutung über das Galvanometer genügen. Wir setzen als eine bekannte Thatsache voraus, daß eine frei bewegliche Magnetnadel sich selbst überlassen eine bestimmte Richtung im Raume annimmt, welche ziemlich von Süd nach Norden geht und schlechtweg die Richtung des magnetischen Meridians genannt wird. Lenkt man eine derartige Nadel aus ihrer Richtung ab, so kehrt sie durch eine Reihe von Oscillationen wieder in ihre ursprüngliche Lage zurück in Folge der sogenannten magnetischen Erdkraft, die wir bald näher kennen lernen werden. — Wenn man nun einen mit Seide übersponnenen dünnen Kupferdraht auf einen in den magnetischen Meridian gestellten rechtwinkligen Rahmen von Holz mehreremal aufwindet und nur seine beiden Enden frei läßt, um mit den Polen der Kette verbunden zu werden, und in der Mitte des Rahmens die Magnetnadel an einem Coconfaden aufhängt oder auf eine feine Spitze setzt; so hat man denjenigen Apparat, welchen man Galvanometer nennt.

Man verbinde nun die Enden des Galvanometerdrahtes mit den Polen einer Volta'schen Kette, so daß der elektrische Strom von Süden nach Norden, mithin parallel zur Magnetnadel den Draht durchfließt; der Nordpol der innerhalb des Rahmens schwebenden Nadel wird dann nach Westen abgelenkt. Aendert man die Richtung des elektrischen Stromes, so erfolgt die Ablenkung der Nadel in entgegengesetzter Richtung oder nach Osten. — Dies vorausgesetzt, entferne man die beiden Platinplatten des Voltameters, nachdem sie kurze Zeit zur Wasserzersetzung gedient haben, aus der Kette und bringe die eine Platte mit dem einen, die andere mit

dem andern Drahtende des Galvanometers in Berührung. Die Ablenkung der Nadel zeigt einen elektrischen Strom an, dessen Richtung jener des Stromes entgegengesetzt ist, der die Elektrolysirung bewirkte. Letzterer Strom wird deßhalb der primäre oder Hauptstrom genannt, während der erstere der secundäre oder Gegenstrom heißt. — Die Veränderung, welche die Metallplatten durch die an ihnen sich abscheidenden Jonen erfahren, nennt man die galvanische Polarisation. Indem sich die Metallplatten mit den Jonen chemisch verbinden oder ihre Oberflächen damit überziehen, gerathen die Platten in einen heterogenen Zustand, der ein verändertes elektromotorisches Verhältniß zur Folge hat. Bei der Wasserzersetzung überkleidet sich bald die positive Elektrode mit einer Schichte Sauerstoff und die negative Elektrode mit einer Schichte Wasserstoff, wodurch die positive Elektrode in die negative und die negative Elektrode in die positive übergeht. Auf diese Weise entsteht ein secundärer von der negativen zur positiven Elektrode gehender Strom, welcher den ursprünglichen Strom schwächt, so lange er andauert. — Hört der Hauptstrom auf und werden die Platinplatten mittelst gesäuerten Wassers in leitende Verbindung gebracht, so wird durch den secundären Strom eine neue Quantität Wasser zersetzt, wobei sich der Sauerstoff an der früheren negativen Elektrode ausscheidet und mit dem daselbst vorhandenen Wasserstoff allmählig zu Wasser verbindet, während an der früheren positiven Elektrode ein ähnlicher Vorgang stattfindet. Dadurch verschwindet nach einiger Zeit die Ungleichartigkeit der Elektroden und damit zugleich der secundäre Strom.

Daß der blose Contact mit Sauerstoff und Wasserstoff homogene Metallplatten in einen heterogenen Zustand zu versetzen vermag, in Folge dessen ein elektrischer Strom entsteht, hat Schönbein auf directe Weise nachgewiesen. In ein Quecksilbernäpfchen a (Fig. 14), das mit dem einen Drahtende des Galvanometers in leitender Verbindung steht, taucht der Draht einer wohl gereinigten Platinplatte, welche in einem Gefäß mit gesäuertem Wasser herabhängt. In das zweite Quecksilbernäpfchen b, das mit dem andern Drahtende des Galvanometers leitend verbunden ist, taucht der Draht einer ganz gleichen Platinplatte, welche ebenfalls in die saure Flüssigkeit eintaucht. Die Galvanometernadel bleibt ruhig, weil die beiden Platinplatten ein gleiches elektromotorisches Verhalten zeigen. — Hat man aber die zweite Platinplatte längere Zeit in eine Atmosphäre von Sauerstoff eingetaucht, so verhält sie

Fig. 14.



sich elektronegativ gegen die erstere: die Galvanometernadel wird abgelenkt und zeigt einen Strom an, der in der Flüssigkeit von der gereinigten Platte nach der mit Sauerstoff bekleideten geht. — Hat man eine Platinplatte längere Zeit als positive Elektrode bei der galvanischen Wasserzersetzung gebraucht und setzt sie dann mit einer gereinigten Platinplatte zu einer geschlossenen Kette auf die vorhin angegebene Art zusammen, so wird man einen Strom entstehen sehen von der Art, daß die zur Kette geschlossen gewesene Platinplatte sich als negativ gegen die gereinigte Platinplatte verhält. — Eine längere Zeit in eine Atmosphäre von Wasserstoff eingetaucht gewesene Platinplatte zeigt sich elektropositiv gegen eine reine Platinplatte, wenn man beide Platten mittelst des Galvanometers zu einer Kette combinirt.

Die Polarisation ist die Ursache, weßhalb in einer Volta'schen Säule oder in einem Trogapparate die Stromstärke bald abnimmt. Denn in jeder feuchten Schichte findet mehr oder weniger eine Wasserzersetzung statt, wobei sich Zink mit Sauerstoff und Kupfer mit Wasserstoff überkleidet. Dadurch entstehen secundäre Ströme, welche dem ursprünglichen Strome entgegen laufen und denselben schwächen müssen. — Bringt man bei der Volta'schen Kette statt des unreinen Zinkes amalgamirtes Zink in Anwendung, so wird der secundäre Strom schwächer oder selbst gänzlich zum Verschwinden gebracht. Daher kommt es denn, daß der Strom bei Kupfer und amalgamirtem Zink intensiver ist als der bei unreinem Zink und Kupfer. — Auch zeigt sich bei einer Volta'schen Combination aus amalgamirtem Zink, unreinem Zink und Schwefelsäure das amalgamirte Zink als elektropositives Metall. — Ein weiterer Grund, warum in einer gewöhnlichen Volta'schen Säule der Strom geschwächt wird, liegt darin, daß durch Ansammeln des Sauerstoffs an der Zinkplatte Zinkoxyd entsteht, welches sich mit der Schwefelsäure zu schwefelsaurem Zinkoxyd verbindet. Indem sich dieses entstandene Salz in dem Wasser der Säure auflöst, wird zugleich Zinkoxyd an der Kupferplatte ausgeschieden, wo es durch den daselbst vorhandenen Wasserstoff alsbald eine Desoxydation erfährt und so reines Zink sich an die Kupferplatte anlegt. Dadurch kommt dann die Kupferplatte auf beiden Seiten mit Zink in Berührung, was abermals eine Schwächung des Stroms zur Folge haben muß.

Die Polarisation verschwindet, wenn sich die Elektroden nicht mit Gasschichten überkleiden können. Hierauf beruht die Wirkung der constanten Ketten. Bei der Daniel'schen Kette steht die Kupferplatte in einer Lösung von Kupfervitriol; der daselbst ausgeschiedene Wasserstoff wird zur Reduction des Kupfervitriols verwandt, so daß sich an die Oberfläche des Kupferbleches immer nur reines metallisches Kupfer anlegt. — Der Sauer-

stoff verbindet sich mit dem amalgamirten Zink zu Zinkoxyd, das mit der es umgebenden Schwefelsäure zu schwefelsaurem Zinkoxyd wird, welches durch das Diaphragma nur sehr langsam durchgehen kann, mithin am Kupfer die Abscheidung von Zink unterbleibt. Bei der Daniell'schen Kette wird also auf beiden Seiten die Gasablagerung verhütet, die zu einer galvanischen Polarisation und damit zur Verminderung der ursprünglichen Stromstärke Anlaß geben könnte. — Mit der Zeit wird jedoch die Intensität des Stromes ebenfalls geschwächt. Durch die fortwährende Reduction des Kupfervitriols wird nämlich einerseits die Lösung immer verdünnter; um sie stets gesättigt zu erhalten fügt man der Kupfervitriollösung Krystalle desselben Salzes hinzu, die sich in dem Maße auflösen, in welchem die Lösung dünner wird, so daß der anfängliche Concentrationsgrad keine auffallende Abänderungen erleidet. — Durch die fortschreitende Bildung von Zinkvitriol wird anderseits die Lösung immer concentrirter. Zur Beseitigung dieses Uebelstandes läßt man von oben her angesäuertes Wasser tropfenweis nachfließen und entfernt mittelst eines in die Zelle gesetzten Hebers die auf den Boden des Gefäßes gesunkene concentrirte Salzlösung.

Bei der Grove'schen Kette wird das elektronegative Platinblech in concentrirte Salpetersäure gestellt, welche einen Theil ihres Sauerstoffs an den an der Platinplatte ausgeschiedenen Wasserstoff abgibt und denselben unter Bildung von Wasser oxydirt; es kann sich daher an der Platinplatte keine Gasschichte ablagern, welche den ursprünglichen Strom schwächen würde. — Der am Zink ausgeschiedene Sauerstoff wird sogleich wieder durch Oxydation des Zinks weggenommen, welches Produkt sich wie bei der Daniell'schen Kette in der Schwefelsäure auflöst. — Auch hier unterliegt der Apparat im Laufe der Zeit der Veränderung. Durch das sich bildende Wasser wird die Salpetersäure allmählig verdünnt und verliert ihre oxydirende Kraft. Die Säure muß daher von Zeit zu Zeit durch neue ersetzt werden. Wenn die Verdünnung noch nicht zu weit vorgerückt ist, läßt sich der fragliche Uebelstand beseitigen und die Kette für längere Zeit constant erhalten, wenn man der verdünnten Salpetersäure etwas concentrirte Schwefelsäure zusetzt. Letztere absorbirt das Wasser, wodurch die Salpetersäure einen großen Theil ihrer oxydirenden Kraft wieder erhält. — Eine Grove'sche Kette ist wirksamer als eine Daniell'sche, was zum Theil von dem Umstande herrührt, daß unter dem Einflusse der Salpetersäure das Platin gegen amalgamirtes Zink sich in höherem Grade elektronegativ verhält als Platin allein.

Bei der Bunsen'schen Kette wird die Salpetersäure durch den an der Kohle frei werdenden Wasserstoff reducirt und das amalgamirte Zink wie bei den zwei vorhin genannten Ketten in der Schwefelsäure gelöst. In dem Maße die Salpetersäure durch das sich bildende Wasser verdünnt

wird, nimmt die Stärke des Stromes ab; man muß daher Sorge tragen die Flüssigkeit auf ihrem anfänglichen Concentrationsgrade zu erhalten. Bei der Salpetersäure läßt sich dies weniger leicht erreichen als bei der gesättigten Kupfervitriollösung; weßhalb die Daniell'sche Kette auf die Länge der Zeit einen constanteren Strom liefert als die Grove'sche und die Bunsen'sche Kette.

Aus der Polarisation der Platten erklärt sich auch die Wirksamkeit der Ladungssäule oder der secundären Säule. In der aus abwechselnden Kupferplatten und angefeuchteten Pappscheiben aufgebauten Säule hat sich, nachdem sie einige Zeit hindurch in den Schließungskreis einer Volta'schen Batterie eingeschaltet gewesen, jede Kupferplatte auf der einen Seite mit einer dünnen Wasserstoffschichte und auf der andern mit einer dünnen Sauerstoffschichte überzogen. Beide Gasschichten bilden so ein elektromotorisches Paar, wobei sich der Wasserstoff elektropositiv und der Sauerstoff elektronegativ verhält. Wenn nun eine solche Säule in sich geschlossen wird, so ist die Veranlassung zur Entstehung von secundären Strömen gegeben, deren Richtung jener des primitiven Stromes der Säule entgegengesetzt ist. — Ein derartiger Strom muß bald abnehmen und endlich ganz aufhören, weil in Folge der durch diesen Strom erzeugten Wasserzersetzung sich der Wasserstoff auf der mit Sauerstoff überzogenen Seite der Kupferplatten ausscheidet und mit demselben sich zu Wasser vereinigt, und der nämliche Vorgang auf der mit Wasserstoff bekleideten Seite der Platten stattfindet. Indem so die Gasschichten auf den Platten zum Verschwinden kommen, hört die Ursache des secundären Stromes auf und damit der Strom selbst. — Aus Poggendorfs Untersuchungen hat sich ergeben, daß die Polarisation an platinirten Platten bedeutend geringer ist als an blanken. Man erhält darum eine kräftige Ladungssäule, wenn man eine Anzahl mit verdünnter Schwefelsäure gefüllter Zellen nebeneinander stellt, in jede zwei platinirte Platinplatten setzt, die links stehenden mit einem und die rechts stehenden mit dem andern Pol eines Grove'schen Elementes in Verbindung bringt, hierauf den Hauptstrom unterbricht und endlich die Ladungssäule schließt. — Will man mit der Ladungssäule eine merkliche Quantität Wasser zersetzen, so muß man nach jeder Entladung die Säule von Neuem laden. Poggendorf hat einen sinnreichen Apparat erdacht, den er Wippe nennt, mit Hülfe dessen die Ladungen und Entladungen schnell nach einander ausgeführt werden können. — Die Grove'sche Gassäule ist nichts anders als eine Ladungssäule, indem sich die Platinelemente mit dergleichen Gashüllen bedecken, wobei sich der Sauerstoff als negatives und der Wasserstoff als positives Element erweist. — Wasserstoff und Chlor liefern ebenfalls eine kräftige Gaskette, bei welcher der Wasserstoff wieder als positives Element auftritt. — Sauerstoff und Stick-

stoff, welche nicht chemisch auf einander wirken, geben keinen elektrischen Strom. — In ähnlicher Weise verhalten sich Wasserstoff und Stickstoff.

Die Wirksamkeit der Zinkeisenkette beruht einerseits auf der oxydirenden Wirkung der Salpetersäure und anderseits auf der sogenannten Passivität des Eisens. Man versteht darunter die Eigenschaft des Eisens von concentrirter Salpetersäure, deren specifisches Gewicht mindestens 1,4 ist, nicht mehr angegriffen zu werden. Das passiv gewordene Eisen ist gegen Zink fast ebenso elektromotorisch als Platin, weßhalb eine Zinkeisenkette, wenn sie gut im Stande ist, einer Zinkplatinkette an Wirksamkeit wenig nachgibt. — Nicht blos durch Behandlung mit concentrirter Salpetersäure kann das Eisen passiv werden; es erlangt diese Eigenschaft auch, wenn man dasselbe in der Weingeistflamme bis zum Anlaufen erhitzt oder das Eisen einige Zeit mit dem positiven Pol einer Volta'schen Säule in Berührung setzt und in eine Säure taucht, die es an und für sich angreifen würde. — Durch alle diese Mittel wird das Eisen mit einer negativ elektrischen Oxydschichte bedeckt, welche das Eisen vor weiterer Oxydation schützt. Eine passiv gemachte Eisenscheibe verhält sich stark negativ gegen nicht passives Eisen, deßgleichen negativ gegen Kupfer und Silber, wenn man das elektromotorische Verhalten mit einem guten Condensator untersucht. — In ähnlicher Weise wirkt elektromotorisch die Bleihyperoxydschichte, welche eine Platinplatte bekleidet; eine solche Platte ist nämlich elektronegativ gegen eine reine Platinplatte.

Taucht man in Salpetersäure von 1,35 specifischem Gewichte zuerst einen Platindraht, berührt dann denselben mit einem wohl gereinigten Eisendraht; so wird derselbe von der Säure nicht angegriffen, wenn man ihn in die Flüssigkeit taucht, während er außerhalb fortwährend mit dem Platindrahte in Berührung bleibt, obgleich derselbe Draht für sich allein lebhaft von der Säure angegriffen wird. — Dasselbe geschieht, wenn man statt des Platindrahtes das geglühte und dadurch passiv gemachte Ende eines Eisendrahtes in die Flüssigkeit taucht. — Die Erscheinung der Passivität tritt nicht mehr ein, wenn man die Salpetersäure bis gegen 80° erhitzt, und zeigt sich um so schwieriger, je mehr die Temperatur der Säure jenem Wärmegrade sich nähert. — Befestigt man an dem einen Drahtende eines Galvanometers einen geglühten Eisendraht, an dem andern einen gewöhnlichen Eisendraht und taucht dann zuerst den positiven und hierauf den andern Eisendraht in Salpetersäure von 1,35 specifischem Gewichte; so zeigt das Galvanometer einen vorübergehenden Strom an in der Richtung von Eisen durch die Flüssigkeit zum passiven Eisen.

Um einen Eisendraht mit Hülfe der Volta'schen Säule passiv zu machen, befestigt man denselben an dem positiven Pole der Säule, wäh-

rend man den negativen Pol in einen Platindraht endigen läßt. Zuerst wird der negative Platindraht in ein Gefäß mit Salpetersäure von 1,35 specifischem Gewichte eingetaucht und hierauf die Kette durch Eintauchen des mit dem positiven Pole der Säule verbundenen Eisendrahtes in die Säure geschlossen. — Bleibt der passive Eisendraht als positiver Pol der Kette in der Säure eingetaucht, so steigt der ausgeschiedene Sauerstoff frei an demselben auf, gerade so als wenn die positive Elektrode aus Platin bestände. — Taucht man den positiven eisernen Poldraht vor dem negativen Poldraht in verdünnte Säure, so wird er nicht passiv. — Nimmt man statt der Salpetersäure von 1,35 specifischem Gewichte eine mehr verdünnte Säure, so wird immer noch der zuletzt in die Flüssigkeit eingetauchte positive eiserne Poldraht der Säule passiv werden.

Aehnliche Erscheinungen treten zu Tage, wenn man anstatt verdünnter Salpetersäure verdünnte Schwefelsäure oder Phosphorsäure anwendet. Immer muß man aber, wenn das Eisen passiv werden soll, den negativen Pol der Säule zuerst in die Flüssigkeit eintauchen und dann erst den positiven eisernen Poldraht in dieselbe einführen. — Wendet man statt der verdünnten Säure Lösungen von Alkalien und von vollkommen neutralen Salzen an, so wird das mit dem positiven Pole der Säule verbundene Eisen stets passiv; mag man den negativen oder positiven Pol zuerst in die Flüssigkeit eintauchen. — Hierauf gründet sich die Construction von Voltametern, deren Elektroden von Eisenblech sind, die in Kalilauge eintauchen. Das mit der Kalilauge gefüllte Gefäß ist mit einem Korke verschlossen, durch welchen außer dem Verbindungsrohre noch zwei Kupferdrähte hindurchgehen, von denen jeder an einer Eisenplatte angelöthet ist. — Das Eisen wird nie passiv, wie man auch die Kette schließen mag, wenn die eisernen Elektroden in eine wässerige Lösung einer nicht sauerstoffhaltigen elektrolytischen Verbindung eingetaucht werden, deren negativer Bestandtheil eine große Verwandtschaft zum Eisen hat, wie Wasserstoffsäuren und Schwefelmetalle.

Ein Eisendraht mit dem positiven Pole einer Säule verbunden und in eine Kupfervitriollösung getaucht, die bereits mit dem negativen Pole in Verbindung steht, besitzt nicht mehr die Eigenschaft, daraus Kupfer zu fällen. — Dasselbe ist bei einem Eisendraht der Fall, den man durch Eintauchen in concentrirte Salpetersäure passiv gemacht hat. — Sobald das Eisen durch Reibung seine Passivität verliert, erhält es die Fähigkeit Kupfer zu fällen wieder. — Macht man das eine Ende eines Eisendrahtes passiv und taucht dasselbe in Salpetersäure von 1,35 specifischem Gewichte, biegt dann den Draht um; so wird beim Eintauchen des anderen Endes in die Flüssigkeit solches nicht angegriffen. In der Salpetersäure kann

also die Passivität von dem passiven Drahtende auf das nicht passive Drahtende übertragen werden. Nicht mehr ist dies aber bei einer Kupfervitriollösung der Fall. Denn taucht man das passiv gemachte Drahtende in eine derartige Auflösung, biegt dann den Draht um und bringt das andere Ende ebenfalls in die Flüssigkeit; so schlägt sich an demselben das Kupfer nieder.

Aehnliche Passivitätserscheinungen wie das Eisen zeigen auch andere Metalle, namentlich Kupfer, Wismuth, Zinn und Zink, nur in bedeutend minderem Grade. Der Grund, weßhalb das Eisen stärker passiv als andere Metalle wird, liegt darin, daß die elektromotorische Kraft zwischen ihm und seinem Oxyd größer ist als bei den übrigen Metallen. — Daher sind auch dergleichen Metalle im passiven Zustand beim Eintauchen in Säure nicht ganz gegen Auflösung geschützt wie passives Eisen; ihre Auflösung geht nur darin langsamer vor sich. Ebenso entwickelt sich bei solchen Metallen, wenn sie als positive Elektroden einer Säule dienen, kein freier Sauerstoff; sondern sie werden mehr oder weniger schnell nach der Stärke des Stromes gelöst.

### 3. Elektrolytische Gesetze. — Hergang bei der Elektrolyse.

Die Gesetze der Elektrolysirung zu ermitteln war Faraday aufs Eifrigste bemüht; einige der wichtigeren von ihm aufgestellten Gesetze sind folgende: 1) Binäre Verbindungen, d. h. aus zwei Grundstoffen zusammengesetzte Verbindungen sind nur dann Elektrolyte, wenn ihre beiden Grundstoffe zu gleichen chemischen Aequivalenten vereinigt sind, wie das Wasser, Zinnchlorür, Kupferchlorid, Chlornatrium. — Dieser Satz hat jedoch keine allgemeine Gültigkeit. Denn durch den elektrischen Strom ist auch direct zerlegbar Kupferchlorür, welches auf ein Aequivalent Chlor zwei Aequivalente Kupfer enthält; deßgleichen Antimonchlorid, bei welchem auf ein Aequivalent Antimon drei Aequivalente Chlor kommen. — 2) Die Ausscheidung der Jonen erfolgt dort, wo der Strom in den Elektrolyten eintritt und wo er aus demselben austritt. Bilden z. B. zwei Platinplatten die Elektroden, deren eine mit einer concentrirten Lösung von schwefelsaurer Magnesia in Berührung steht, die andern aber von der Lösung durch eine auf ihr gelagerte Wasserschichte getrennt ist, und wird dann ein starker elektrischer Strom durchgeleitet, dergestalt, daß der negative Pol auf Seite des Wassers liegt; so erscheint die Magnesia nicht an der Platinplatte, sondern dort wo die Bittersalzlösung das Wasser berührt. 3) Eine Elektrolysirung kann nur stattfinden, wenn der Elektrolyt ein Leiter ist. Eis wird nicht zersetzt, weil es die Elektricität schlecht leitet. Chlorblei, Chlorsilber sind nur im geschmolzenen Zustande elektrolysirbar, in welchem sie zugleich Leiter sind. — Ob die Flüssigkeiten elektrolysirbar

sind, weil sie Leiter werden, oder ob sie Leiter sind, weil sie elektrolysirbar werden, darüber haben sich die Physiker noch nicht völlig einigen können. Harz und manche andere Körper sind in jedem Zustande nicht Leiter; daher auch keine Elektrolyten. — 4) Die Mengen der ausgeschiedenen Jonen verhalten sich wie ihre chemische Aequivalente. Dieses Gesetz heißt das Gesetz der bestimmten elektrolytischen Action. Faraday hat dieses Gesetz in einer großen Anzahl von Versuchen bestätigt gefunden, von denen folgende zwei hier angeführt werden mögen.

Er nahm eine Platinplatte und eine amalgamirte Zinkplatte und tauchte sie in verdünnte Schwefelsäure. Bei Berührung der Platten stieg das Wasserstoffgas am Platin auf, während das Zink ruhig verzehrt wurde. Das Wasserstoffgas sammelte er sorgfältig auf und fand, nachdem der Versuch längere Zeit gedauert hatte, daß sich das Gewicht des entwickelten Wasserstoffgases zu dem Gewichte des aufgelösten Zinks wie 1 zu 32,5 verhielt. Nun verhalten sich aber die Gewichte der chemischen Aequivalente von Wasserstoff und Zink wie 12,48 zu 406,5 oder wie 1 zu 32,5. — Ein andermal leitete Faraday einen elektrischen Strom durch verschiedene Röhren, die mit Wasser, Chlorsilber in geschmolzenem Zustande, Chlorblei in demselben Zustande und Zinnchlorür in concentrirter Lösung gefüllt waren. Die in derselben Zeit ausgeschiedenen Gewichtsmengen von Wasserstoffgas, Blei, Silber und Zinn verhalten sich wie 1 : 103,6 : 108 : 57,9, während an dem positiven Pole Sauerstoffgas und Chlor in dem Verhältnisse von 8 : 35,4 ausgeschieden wurden. — Die angegebenen Zahlen sind aber die chemischen Aequivalente dieser Stoffe. Daraus geht hervor, daß zur Ausscheidung chemisch äquivalenter Quantitäten verschiedener Stoffe gleiche Elektricitätsmengen erforderlich sind.

Es läßt sich daher nach der Quantität irgend eines ausgeschiedenen Bestandtheils eines Elektrolyten auf die Elektricitätsmenge schließen, welche diese Ausscheidung in einer bestimmten Zeit bewirkte. Das Gesetz der festen elektrolytischen Action gibt uns einen guten Anhaltspunkt zur Beurtheilung über die Zweckmäßigkeit der Construction einer zusammengesetzten Kette. Würden z. B. in den Zellen auf 9 Milligramm Wasser mehr als 32,3 Milligramm Zink aufgelöst, so ist dies einer nachtheiligen Einwirkung zuzuschreiben; die Säule ist desto besser, je näher der Zinkverlust dem chemischen Aequivalente des Zinks kommt. — Dergleichen störende Actionen kommen bei elektrischen Ketten immer vor; man muß deßhalb dahin trachten, jene Actionen so viel als möglich zu verringern. Eine solche locale von dem elektrischen Strome der Säule independente chemische Action ist die Auflösung des Zinkes in der Flüssigkeit bei nicht geschlossener Kette; daher der Nutzen des Amalgamirens der Zinkplatten. — Abgesehen von jenen störenden Actionen ist die Menge des in einer be-

stimmten Zeit verbrauchten Zinks der Stromstärke proportional; dies gilt jedoch nur bei Batterien von der nämlichen Beschaffenheit.

Das Gesetz der bestimmten elektrolytischen Action ist jedoch ebenfalls nicht ohne Ausnahme, wie Bequerel gezeigt hat. Denn bei der galvanischen Zersetzung des Kupferchlorürs, welches aus zwei Aequivalenten Kupfer und ein Aequivalent Chlor besteht, zeigt sich gleichzeitig im Voltameter nur ein Aequivalent Wasserstoff und ein Aequivalent Sauerstoff. Jedoch ergibt sich auch aus Bequerel's Untersuchungen, daß bei der nämlichen Stromstärke für jedes Aequivalent Wasser auch ein Aequivalent von irgend welcher elektrolysirbaren Verbindung zersetzt wird.

Ueber den Hergang bei der Elektrolyse hat Grotthuß eine im hohen Grade naturgemäße Ansicht aufgestellt, welche mit der Vorstellungsweise übereinstimmt, die man sich von dem Vorgange der Ausgleichung der entgegengesetzten Elektricitäten bei dem Stattfinden eines elektrischen Stromes machen kann. — Bleiben wir vorläufig bei dem einfachen Beispiele der Wasserzersetzung stehen. In dem gewöhnlichen Zustande liegen alle Wasseratome, von denen jedes aus einem Wasserstoffatom und einem Sauerstoffatom besteht, in beliebiger Richtung und Ordnung nebeneinander. Beim Eintreten des Stromes wird jedes Wasseratom polarisch, dergestalt, daß alle Sauerstoffatome der positiven Elektrode und alle Wasserstoffatome der negativen Elektrode sich hinwenden, wobei zugleich durch Vertheilung alle Sauerstoffatome negativ und alle Wasserstoffatome positiv elektrisch werden. — Bei dieser Richtung der Wasseratome und der Vertheilung der Elektricitäten auf denselben bleibt es aber nicht, sondern die Anziehung der positiven Elektrode überwindet die chemische Anziehung zwischen dem Sauerstoff und dem Wasserstoff des zunächst anliegenden Wasseratoms, weßhalb sich Sauerstoff an der positiven Elektrode ausscheidet. Der frei gewordene Wasserstoff des ersten Wasseratoms verbindet sich mit dem Sauerstoff des zweiten Wasseratoms, dessen Wasserstoff dasselbe mit dem Sauerstoff des dritten Wasseratoms thut. — Ein ähnlicher Vorgang findet bei der negativen Elektrode statt, wo der positiv elektrische Wasserstoff des damit in Berührung stehenden Wasseratoms sich ausscheidet, während der negativ elektrische Sauerstoff gegen die positive Elektrode getrieben wird. Die in beiden Elektroden sich ausscheidenden Stoffe rühren nicht von ein und demselben Atome her, sondern stets von zwei verschiedenen an den beiden Elektroden anliegenden Atomen.

Die Elektrolyse ist hiernach als ein bloser Austausch der Elemente der nebeneinander gelegenen zusammengesetzten Theilchen zu betrachten. Auf jedem Punkte der Bahn des Stromes werden die Elemente unmittelbar nach der Zersetzung wieder zu zusammengesetzten Theilchen vereinigt.

Nur an den Elektroden sind die Bedingungen zur Wiedervereinigung der letzten ausgeschiedenen Atome nicht vorhanden, weßhalb dieselben dort im freien Zustande auftreten. — Wie oben schon bemerkt, können Flüssigkeiten oder Gase eben so gut die Rolle einer Elektrode übernehmen wie Metalle. Die Elektroden sind nur als die Thore zu betrachten, durch welche der elektrische Strom ein- und austritt, oder von denen aus eine gewisse Wirkung sich fortpflanzt, deren Ursache mit dem Worte elektrischer Strom bezeichnet wird. — Die Polarisation der Theilchen und die Trennung der Elemente sind directe Wirkungen der Fortpflanzung der Elektricität durch den Elektrolyten. Die unmittelbar nach der Zersetzung vor sich gehende Wiedervereinigung der Elemente geschieht vermöge der den kleinsten Theilchen inwohnenden Affinitätskräfte. — Zum Auftreten eines Jonen im freien Zustande an irgend einer Stelle der Strombahn ist es nur nöthig, daß das fragliche Element daselbst keinen Körper antrifft, mit welchem es sich vereinigen kann.

Diese Theorie schließt sich mit Leichtigkeit den Erscheinungen an, welche bei der Elektrolyse aller binär zusammengesetzten Körper zu Tage treten. Bei Zerlegung der Alkalien tritt ein Metall an die Stelle des Wasserstoffs. Bei der Elektrolyse der Chlormetalle wird der Sauerstoff durch das Chlor und der Wasserstoff abermals durch ein Metall vertreten. Bei zusammengesetzteren Verbindungen kann das eine oder das andere Jon auch durch eine Atomgruppe ersetzt werden, welche so die Rolle eines einfachen Atoms übernimmt. In der Elektrolyse eines Sauerstoffsalzes treten die Säure und der Sauerstoff der Base beide an der positiven Elektrode auf, während das Metall an der negativen Elektrode sich zeigt.

Das Chlorammonium, dessen Zusammensetzung durch die Formel $(Cl + NH_4)$ ausgedrückt wird, wird durch den galvanischen Strom in $Cl$ und $NH_4$ zerlegt, wobei $NH_4$ an der negativen Elektrode abgeschieden wird, hier aber sogleich in Ammoniak $= NH_3$ und Wasserstoff $= H$ zerfällt. — Das schwefelsaure Kupferoxyd, welches durch die Formel $(CuO + SO_3)$ ausgedrückt ist, wird durch den Strom in $Cu$ und $SO_3 + O$ zerlegt, von denen ersteres an der negativen Elektrode, letztere an der positiven Elektrode auftreten. — Salpetersaures Kali $(Ko + No_5)$ wird durch den Strom in $K$ und in $No_5 + O$ zerlegt. — Kohlensaures Natron $(NaO + CO_2)$ scheidet sich durch den Strom in $Na$ und in $CO_2 + O$.

## 4. Chemische Wirkungen der Reibungselektricität.

Die Wasserzersetzung läßt sich ebenfalls mittelst der Reibungselektricität bewerkstelligen. Man befördert die Wasserzersetzung, wenn man wie Wollaston gethan, feine Platindrähte in Haarröhrchen von Glas einschmilzt und das auf der einen Seite hervorragende Drahtstück bis auf das Glas

wegfeilt, dergestalt, daß in Wasser eingetaucht der Platindraht nur noch mit seinem Querschnitt mit dem Wasser in Berührung ist. — Stellt man zwei solcher Wollaston'schen Spitzen in reinem oder schwach gesäuertem Wasser einander gegenüber, so erhält man an der positiven Polspitze Sauerstoffgas, an der negativen Wasserstoffgas, wenn man den einen Draht mit dem Conductor, den andern mit dem Reibzeuge einer in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine in Verbindung bringt. — Dagegen erhält man an jeder Polspitze beide Gase zugleich, wenn man den einen Draht zum Boden ableitet und auf den andern vom Conductor der Elektrisirmaschine kleine Fünkchen überschlagen läßt. — Flaschenentladung darf nicht angewendet werden, weil sie gefährliche Explosionen und die Zertrümmerung der Gefäße zur Folge hat.

Auf dieselbe Weise lassen sich auch Metallsalze zersetzen. Bringt man z. B. die beiden Wollaston'schen Spitzen in eine Lösung von Kupfervitriol, so erhält man am positiven Pol eine Entwickelung von Gasbläschen, während sich das Ende des negativen Leitungsdrahtes mit metallischem Kupfer bedeckt. — Die Zersetzung dieser Lösung kann auch auf folgendem Wege geschehen. Auf einer Glasplatte befestige man zwei Stanniolblättchen, von denen das eine mit dem Conductor, das andere mit dem Reibzeuge in Verbindung steht. Alsdann bringe man in die Mitte der Glasplatte einen Tropfen Kupfervitriollösung, in den zwei mit den Stanniolblättchen verbundene Platindrähte tauchen. Wird die Maschine in Umdrehung versetzt, so zeigt sich nach kurzer Zeit eine Zersetzung der Kupfervitriollösung, indem sich an dem Ende des negativen Drahts metallisches Kupfer ausscheidet. — Zwei andere von Faraday angestellte bemerkenswerthe Versuche, welche über die Wirkungsweise der elektrostatischen Entladungen auf Elektrolyte Licht verbreiten, sind nachstehende.

Man befestige auf einer Glastafel drei mit Salzlösungen getränkte Papierstreifen. Der erste Streifen ist mit einer Jodkaliumstärkelösung, der zweite mit einer durch Lackmus blau gefärbten Lösung von schwefelsaurem Natron, endlich der dritte mit einer Lösung desselben Salzes getränkt, und zwar dessen eine Hälfte mit Curcumatinctur gelb, dessen andere Hälfte aber durch Lackmus blau gefärbt. Der erste Streifen steht mit dem positiven Conductor und der dritte Streifen mit dem negativen in Verbindung, während zwei Platindrähte den mittleren Streifen mit den beiden äußersten verbinden und so die Kette schließen. Wenn die Maschine ihre Wirkung beginnt, fließt der elektrische Strom von der einen Seite nach der anderen ohne Funkenerscheinung, wobei sich in allen Salzlösungen eine Zersetzung kund gibt. Auf dem ersten Streifen wird in der Nähe des positiven Pols Jod frei, das die Stärke blau färbt; auf dem zweiten Streifen gibt sich an dem einen Ende Schwefelsäure durch Röthung des

Lackmus zu erkennen; an dem einen Ende des dritten Streifens tritt ebenfalls Schwefelsäure auf, während die Bräunung der Curcumatinctur an dem andern Ende die Gegenwart des in Freiheit gesetzten Natrons andeutet.

Man klebe in der Mitte einer Glastafel fünf mit schwefelsaurem Natron getränkte Papierstückchen in einer Reihe hintereinander auf. An ihren Enden sind sämmtliche Streifen zugespitzt, deren beiden äußeren ein wenig über die Glastafel hervorragen; alle sind zur Hälfte durch Lackmus blau, zur andern Hälfte durch Curcuma gelb gefärbt. — Dem Lackmusende des ersten Streifens steht eine Platinspitze gegenüber, welche mit dem positiven Conductor der Maschine verbunden ist; ebenso steht dem Curcumaende des letzten Streifens eine Platinspitze gegenüber, welche mit dem Reibzeuge communicirt. Wenn die Maschine einige Zeit gewirkt hat, wobei die Elektricität wieder ohne Funkenerscheinung den Apparat durchströmt, sind auf jedem Papierstreifen zwei Flecke bemerkbar: der nach dem positiven Conductor hinzu liegende rothe Fleck deutet die Gegenwart freier Säure an; der nach dem negativen Conductor hinzu gewendete braune Fleck beweist, daß daselbst freies Alkali ausgeschieden ist.

Aus den vorstehenden Versuchen geht unzweideutig hervor, daß zwischen den elektrolytischen Eigenschaften der galvanischen Ströme und der dunkeln elektrostatischen Entladungen kein wesentlicher Unterschied besteht. — Zugleich zeigen die zwei letzten Versuche, daß die zwischen den Papierspitzen befindlichen Luftschichten sich wie Elektroden verhalten. — Faraday hat mit seiner mächtigen Hydroelektrisirmaschine dieselben elektrolytischen Effecte hervorgebracht, wie mit der galvanischen Säule. — Wenn demnach das elektrische Fluidum ohne Funkenerscheinung einen zusammengesetzten Körper durchströmt, so findet eine wirkliche Elektrolysation statt, bei welcher die Elemente nur an der Eintritts- und Austrittsstelle der Elektricität zum Vorschein kommen.

Die dunkeln Entladungen der statischen Elektricität zersetzen die Körper und trennen deren Elemente nach Art der galvanischen Ströme. Dagegen werden bei den Funkenentladungen der statischen Elektricität, wie aus den Wollaston'schen Versuchen erhellet, die Elemente des Elektrolyten stets miteinander gemengt in Freiheit gesetzt. — Man hat durch eine Reihe starker Entladungsschläge von Leydener Flaschen Alkohol und Oele zersetzt, aber die Bestandtheile dabei stets gemengt erhalten. — Davy ließ den Volta'schen Funken durch leitende Flüssigkeiten schlagen und hat so gefunden, daß der Volta'sche Funken sich wie der elektrostatische Funken verhält. — Bei dem Uebergange der Elektricität in der Form von Funken ist der chemische Effect häufig nur eine Folge der zu Stande gekommenen beträchtlichen Temperaturerhöhung.

Der Durchgang des elektrischen Funkens durch Gase wirkt bald trennend, bald verbindend auf dieselben. So zersetzt eine Reihe elektrischer Funken:

Kohlensäure in Kohlenoxydgas und Sauerstoff;
Chlorwasserstoffgas in Wasserstoff und Chlor;
Schwefelwasserstoff in Wasserstoff und Schwefel;
Ammoniak in Wasserstoff und Stickstoff.

Anderseits erhält man beim Durchschlagen elektrischer Funken:

Wasser aus einem Gemenge von Sauerstoff und Wasserstoff;
Salzsäure aus einem Gemenge von Chlor und Wasserstoff;
Kohlensäure aus einem Gemenge von Kohlenoxyd und Sauerstoff;
Schwefelsäure aus einem Gemenge von schwefeliger Säure und Sauerstoff.

Bei dem Durchgange des elektrischen Funkens durch Gase vereinigen sich die Elemente unter Umständen auch wieder in anderer Ordnung. In einem Gemenge von atmosphärischer Luft und Wasserdampf wird das Wasser zersetzt und es bildet sich Ammoniak. — In einem Gemenge von Sauerstoff und Schwefelwasserstoff wird letzteres zersetzt und es entsteht Schwefelsäure.

## IV. Verschiedene Vorgänge bei der Elektrolyse.

### 1. Wanderungen der Jonen.

Theilt man ein mit einer elektrolytischen Salzlösung gefülltes Gefäß durch eine poröse Scheidewand in zwei zusammenhängende Zellen und taucht dann in eine dieser Zellen die positive, in die andere die negative Elektrode; so erscheint an der positiven Elektrode die Säure, an der negativen die Basis oder nach Umständen das reguliniſche Metall. — Nach der Zersetzung findet man, daß die positive Zelle reicher an Säure und die negative Zelle reicher an Basis geworden ist als vor der Zersetzung. Es hat mithin eine W a n d e r u n g der Basis von der positiven nach der negativen Zelle und eine W a n d e r u n g der Säure in der entgegengesetzten Richtung stattgefunden. — Die Schnelligkeit der Wanderung ändert sich mit der Beschaffenheit der Elektrolyten und steht in keinem directen Zusammenhange mit der Größe der Ausscheidung an den Elektroden, an denen stets einander äquivalente Mengen in Freiheit gesetzt werden. — Mit Hülfe der Grotthuß'schen Theorie kann man sich von einer derartigen Wanderung der Jonen Rechenschaft geben, wenn man erwägt, daß bei der fortwährend wiederkehrenden gegenseitigen Zersetzung der Theilchen der Elektrolyten die Atome des positiven Jones nach der einen und jene des negativen Jones nach der entgegengesetzten Seite gehen, um neue zusammengesetzte Theilchen zu erzeugen. Legen nun bei dieser Bewegung die

beiden Jonen gleiche Wege zurück, so werden nach der Elektrolyse in jedem Theile die Jonen in demselben Verhältnisse sich vorfinden wie vor der Elektrolyse. Nicht mehr wird dies aber der Fall sein, wenn die Jonen ungleiche Wege machen; es muß nämlich alsdann auf der Seite der Flüssigkeit, auf welcher das schneller sich bewegende Jon auftritt, letzteres in größerer Menge vorhanden sein, als das langsamer wandernde.

Man theile ein Glasgefäß durch eine poröse Scheidewand in zwei Zellen; fülle dann die eine mit einer Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd, die andere mit einer Lösung von salpetersaurem Bleioxyd; endlich tauche man die positive Platinelektrode in die Kupferlösung und die negative Platinelektrode in die Bleilösung. Nach einiger Zeit zeigen sich an der positiven Elektrode freie Schwefelsäure und freie Salpetersäure, während sich auf der negativen Elektrode Blei und Kupfer absetzen. Beim Schließen der Kette wird an der positiven Elektrode Schwefelsäure und Sauerstoff ausgeschieden, zugleich an der porösen Wand Kupfer in Freiheit gesetzt; an derselben Stelle wieder Salpetersäure und Sauerstoff abgeschieden, während sich die negative Elektrode mit Blei bedeckt. So bildet sich an der Grenzfläche der beiden Flüssigkeiten salpetersaures Kupferoxyd, welches selbst wieder zersetzt wird: auf diese Weise geschieht es denn, daß die Bestandtheile dieses Salzes auf dem Wege der immer wiederkehrenden Zersetzung und Wiedervereinigung nach entgegengesetzten Seiten hinwandern und dergestalt die beiden Säuren auf der positiven Elektrode und die beiden Metalle auf der negativen Elektrode anlangen.

Noch deutlicher wird der in Rede stehende Vorgang durch folgenden Versuch vor Augen gelegt. Man theile ein Glasgefäß durch zwei poröse Scheidewände in drei Zellen, deren äußere auf der Seite der positiven Elektrode gelegene Zelle mit salpetersaurem Baryt, die andere auf der Seite der negativen Elektrode befindliche Zelle mit schwefelsaurem Kupferoxyd, und die mittlere Zelle mit destillirtem Wasser gefüllt ist. Beim Schließen der Kette erscheint an der positiven Elektrode nur Salpetersäure, an der negativen Elektrode nur Kupfer; in dem mittleren Gefäße fällt unlöslicher schwefelsaurer Baryt nieder. Die Schwefelsäure aus der einen Zelle und der Baryt aus der andern Zelle sind mithin nach entgegengesetzten Richtungen hingewandert und haben sich in der mittleren Zelle vereinigt. Wegen der Unlöslichkeit des schwefelsauren Baryt konnten dessen Bestandtheile die mittlere Zelle nicht verlassen, also auf der einen Seite kein Baryt und auf der andern keine Schwefelsäure auftreten.

Hieraus ist es erklärlich, warum Säuren und Alkalien durch Lackmus und Curcumatinctur hindurch gehen können, ohne irgend eine Spur der Einwirkung daran zurückzulassen. Jene Tincturen enthalten nämlich Salze, welche bei der Zersetzung ihre Elemente mit denen der angrenzenden

Salzlösungen vertauschen. Es entsteht auf diese Weise ein neues Salz. Die Säuren und Alkalien befinden sich mithin an dieser Stelle der Strombahn im gebundenen Zustande, können deßhalb auf Lackmus und Curcuma keine Wirkung ausüben. Nicht so verhält es sich an den Elektroden, wo Säure und Alkali gewöhnlich im freien Zustande auftretend die Farben der Lackmus- und Curcumalösung verändern müssen.

## 2. Galvanische Endosmose.

Beim Durchgange des galvanischen Stromes durch Flüssigkeiten zeigt sich eine Tendenz dieselben von dem positiven nach dem negativen Pole hinzutreiben; diese mechanische Ueberführung der unzersetzten Flüssigkeit in der Richtung von der positiven nach der negativen Elektrode heißt galvanische Endosmose. — Um diese Ueberführung nachzuweisen, nehme man eine U förmig gebogene Röhre, in deren unterem Theil ein Propf von feuchtem Thon angebracht ist. Füllt man dann beide Schenkel bis zu zwei Drittel der Höhe mit reinem Wasser und taucht in dieselben die Platinelektroden einer Bunsen'schen Batterie von 10 Elementen, so wird man nach einiger Zeit ein Steigen des Wassers um die negative Elektrode und ein entsprechendes Sinken um die positive Elektrode sehen. — Weingeist zeigt diese Erscheinung noch stärker als Wasser. Auch bei Salzlösungen findet die Erscheinung statt, aber in schwächerem Grade als beim Wasser. Verdünnte Schwefelsäure zeigt die Wirkung nicht. — Wird die Thonwand mit einer Gypsplatte oder einem mit Blase bespanntem Rahmen vertauscht, so zeigt sich die Ueberführung gleichfalls in größerem oder geringerem Maße.

In neuerer Zeit hat Wiedemann die galvanische Endosmose mit Sorgfalt untersucht und besondere Apparate construirt, um die Menge der durch den Strom zum negativen Pol übergeführten Flüssigkeit genau messen zu können. Die erste Reihe seiner Versuche bezog sich auf die Frage, ob Ströme von verschiedener Intensität verschiedene Quantitäten Flüssigkeiten durch den Thoncylinder hindurchtrieben. Zur Messung des Stromes diente ihm eine Tangentenbussole oder bei schwächeren Strömen ein mit ihr verglichenes Galvanometer. Aus seinen mit destillirtem Wasser und verschiedenen Kupfervitriollösungen angestellten Versuchen ergab sich, daß die Menge der in einerlei durch den galvanischen Strom durch den Thoncylinder hinübergeführten Flüssigkeit der Intensität des Stromes direct proportional ist.

Die zweite Versuchsreihe betraf die Frage, in welcher Beziehung die durch den galvanischen Strom hinübergeführten Flüssigkeitsmengen zur Größe der Oberfläche und der Dicke des jedesmal angewandten porösen Diaphragma's stehen. — Es wurde zunächst nach und nach ein kleinerer oder größerer Theil des Thoncylinders mit einer nichtleitenden und für

die benutzten Flüssigkeiten undurchdringlichen Schichte, wie mit Wachs oder Schellack, überzogen. Aus diesen Versuchen stellte sich heraus, daß die von einem galvanischen Strome in einerlei Zeit durch verschiedene poröse Wände geführten Flüssigkeitsmengen von der Größe der Oberfläche der Wände unabhängig sind. — Ebenso ergab sich, daß bei derselben Stärke des galvanischen Stromes die Menge der durch verschieden dicke Platten in einerlei Zeit hindurchgeführten Flüssigkeit gleich ist. — Stärker gebrannte und dichtere Thonplatten lassen bei gleicher Intensität des galvanischen Stromes in der nämlichen Zeit weniger Flüssigkeit durchströmen, als minder dichte.

Eine dritte Versuchsreihe bezweckte die Erforschung der Abhängigkeit des fraglichen Strömens von der Natur der angewendeten Flüssigkeiten. Schon der Umstand, daß die gutleitenden Salzlösungen die Erscheinung in geringerem Grade zeigen als das schlechter leitende Wasser und dieses wieder nicht so stark als der noch schlechter leitende Weingeist, weist darauf hin, daß die durch galvanische Endosmose übergeführte Flüssigkeitsmenge unter sonst gleichen Umständen um so bedeutender ist, je geringere Leitungsfähigkeit die Flüssigkeit dem elektrischen Strome darbietet. — Dies gab Wiedemann Veranlassung Kupfervitriollösungen von verschiedenen Concentrationen bei den Versuchen anzuwenden. Es stellte sich dabei mit großer Bestimmtheit heraus, daß unter übrigens gleichen Umständen die übergeführten Mengen verschiedener Flüssigkeiten um so beträchtlicher werden, je bedeutender die Leitungswiderstände derselben für den galvanischen Strom sind. — Wiedemann sieht die galvanische Endosmose als eine Aeußerung der elektromotorischen Kraft an, die unter der Form einer bewegenden Kraft in der Richtung vom positiven zum negativen Pole hin auftritt. Vielleicht hat sie auch ihren Grund in dem beständigen Bestreben der Elektricität sich auszubreiten, welches Bestreben der ponderabeln Materie sich mittheilt, zwischen deren Theilchen sie in Thätigkeit gesetzt ist. Hiernach wäre die Ursache der endosmotischen Ueberführung der Flüssigkeit gewissermaßen in einer Anhäufung von freier Elektricität an der porösen Scheidewand zu suchen, in Folge deren die Flüssigkeit fortgetrieben wird, in ähnlicher Weise etwa wie das in ein trichterförmiges mit feiner Oeffnung versehene Gefäß hineingegossene Wasser in der Nähe des Conductors der in Bewegung gesetzten Elektrisirmaschine.

## 3. Indirecte Zersetzungen.

Die Bestandtheile, in welche ein Elektrolyt zunächst zerlegt wird, gehen häufig nach ihrer Ausscheidung anderweitige chemische Verbindungen ein; solche nicht unmittelbar durch den elektrischen Strom erzeugte Verbindungen heißen *indirecte* oder *secundäre Zersetzungen*, um sie

von den **directen** oder **primären Zersetzungen** zu unterscheiden, welche unmittelbar durch den Strom bewirkt werden. — Besteht die positive Elektrode aus einem leicht oxydirbaren Metalle, so scheidet sich daselbst kein Sauerstoff aus, weil derselbe schnell das Metall oxydirt. — Bei der Elektrolyse der Kochsalzlösung entzieht das ausgeschiedene Natrium dem Wasser seinen Sauerstoff und gibt dadurch Anlaß zur Entwickelung einer entsprechenden Menge Wasserstoffgas; welches demnach durch eine secundäre Zersetzung frei geworden ist. — Unterwirft man schwefelsaures Kupferoxyd der Zersetzung durch den Strom, so erscheint am positiven Pole Schwefelsäure und Sauerstoff, das an dem negativen Pole gleichzeitig erscheinende Kupferoxyd entzieht dem Wasser seinen Wasserstoff, weßhalb das Erscheinen des metallischen Kupfers an der negativen Elektrode keine primäre, sondern eine secundäre Wirkung des Stromes ist.

Ein interessantes Beispiel von secundärer Zersetzung liefert die Elektrolyse einer Lösung von Salmiak oder Chlorammonium ($NH_4Cl$). An der negativen Elektrode scheidet sich das Ammonium ($NH_4$) aus, welches sogleich in Ammoniak ($NH_3$) und Wasserstoff H zerfällt, die in Gasform entweichen. Das an der positiven Elektrode ausgeschiedene Chlor dagegen verbindet sich theils mit dem Wasserstoff des umgebenden Chlorammoniums zu Salzsäure ($HCl$), theils mit dessen Stickstoff zu Chlorstickstoff ($NCl_3$), indem nämlich zu Chlorammonium ($NH_4Cl$) noch 6 Aequivalente Chlor hinzutreten, was gibt $NH_4Cl + 6Cl = 4HCl + NCl_3$, d. h. 4 Aequivalente Salzsäure und ein Aequivalent Chlorstickstoff. Die Salzsäure und der Chlorstickstoff sind hier secundäre Zersetzungsprodukte. — Der Versuch muß mit Vorsicht angestellt werden, weil der an der positiven Platte in gelben öligen Tröpfchen auftretende Chlorstickstoff außerordentlich leicht unter heftigem Knall und mit Lichterscheinung sich zersetzt.

Der an der positiven Elektrode ausgeschiedene Sauerstoff hat im Augenblicke seines Entstehens stark oxydirende Eigenschaften, so daß er Verbindungen bildet, welche der freie Sauerstoff sonst nicht eingeht. — So wird z. B. bei der Elektrolyse einer gesättigten Lösung von Chlorkalium zuerst das Salz, dann auch das Wasser zerlegt, worauf der Sauerstoff an der positiven Elektrode nur zum Theil gasförmig entweicht, indem ein Theil desselben mit dem daselbst auftretenden Chlor zuvörderst unterchlorige Säure, zuletzt Chlorsäure bildet, welche in der Lösung an Kali gebunden erscheinen. — Bei der Zersetzung der Salzsäure, besonders wenn derselben einige Tropfen Schwefelsäure zugesetzt sind, übt der Sauerstoff in Folge einer Zerlegung des Wassers eine ähnliche Wirkung aus, indem er sich mit dem zugleich an der positiven Elektrode ausgeschiedenen Chlor theilweise zu Chlorsäure und Ueberchlorsäure verbindet, während gleichzeitig freies Chlorgas daselbst und Wasserstoffgas an der negativen Elektrode entweichen.

Unterwirft man eine Lösung von essigsaurem Bleioxyd der Elektrolyse, so bedeckt sich die negative Elektrode mit metallischem Blei, während an der positiven Elektrode Essigsäure und Sauerstoff erscheinen. Von dem letzteren entweicht nur ein Theil, indem sich der Rest mit dem in der Nähe befindlichen Bleioxyd zu Bleihyperoxyd $PbO_2$ verbindet, welches sich als ein brauner Ueberzug an der positiven Elektrode ablagert. — Das Bleihyperoxyd ist noch negativer als Platin. Die aus Bleihyperoxyd und Zink construirte Ketten lassen aber in ihrer Wirkung bald nach, weil der am Bleihyperoxyd sich abscheidende Wasserstoff demselben Sauerstoff entzieht und es in Bleioxyd verwandelt. — Salpetersaures Silberoxyd bietet eine ähnliche Erscheinung dar. An der negativen Elektrode scheidet sich metallisches Silber aus, an der positiven Elektrode erscheinen Salpetersäure und freier Sauerstoff. Zugleich bilden sich aber durch secundäre Zersetzung schwarze metallglänzende Krystalle, welche dem Silberhyperoxyd ($AgO_2$) entsprechen.

### 4. Elektrochemische Figuren von Nobili. — Elektrochemische Bewegungen von Flüssigkeiten.

Läßt man eine Elektrode in eine polirte Metallscheibe ausgehen, welche mit einer dünnen Schichte von Flüssigkeit übergossen ist, während die andere Elektrode in eine der Scheibe senkrecht gegenüberstehende Spitze ausläuft; so legt sich meistens der Absatz der durch die Säule zersetzten Flüssigkeit in Form concentrischer Kreise an, deren Mittelpunkt der erwähnten Spitze gegenübersteht. Dergleichen ringförmige Figuren heißen nach ihrem Entdecker Nobili'sche Ringe. — Auf einer reinen Platinplatte, die als positive Elektrode in einer Auflösung von essigsaurem Bleioxyd dient, falls ihr gegenüber die Spitze eines Drahtes, welche die negative Elektrode bildet, in die Flüssigkeit getaucht wird, lagern sich mehrere concentrische mit Regenbogenfarben schillernde Ringe von Bleihyperoxyd ab. — Diese Ringe entwickeln sich einer aus dem andern, indem sie nach Art der Wellen fortschreiten; ihre Lebhaftigkeit und Reinheit hängt von dem Grade der Politur der Oberfläche ab, auf welcher sie hervortreten; durch Erhitzung werden die Farben der Ringe meistens glänzender; durch Salpetersäure verschwinden sie gänzlich. — Dient die Platinplatte als negative, die ihr gegenüberstehende Spitze als positive Elektrode, so erzeugen sich ähnliche Phänomene: nur sind dann die Ringe weniger lebhaft und haften nicht so fest auf der Platte.

Schöne Ringe erhält man ebenfalls, wenn man eine Silberplatte zur negativen Elektrode wählt und in das darauf gegossene essigsaure Kupferoxyd die feine Spitze des positiven Platindrahts taucht. — Weniger lebhaft und minder fest haften diese Ringe, wenn die Silberplatte zur posi-

tiven Elektrode genommen wird. — Der positive Pol übertrifft den negativen Pol in dem Vermögen, sich mit solchen concentrischen Ringen zu überziehen; ein Unterschied, welcher bei thierischen und vegetabilischen Flüssigkeiten auf eine auffallendere Weise hervortritt, als bei den Metallauflösungen und ihren Mischungen. — Zur Aufnahme der elektrochemischen Figuren scheinen sich die negativeren Metalle mehr zu eignen als die positiveren: denn auf letzteren ist es Nobili nicht gelungen, ein deutliches Erscheinen dergleichen Figuren zu bemerken. Doch hat er öfters auf Silber solche Figuren entstehen sehen, wo auf Platin keine entstanden, obschon sie oft ebenfalls auf Silber nicht so deutlich waren als auf Platin.

Die Wirkung zwischen den Polardrähten und den leitenden Flüssigkeiten veranlaßt öfters in denselben bemerkenswerthe Bewegungen, welche von Herschel, Pfaff und Anderen in neuerer Zeit genau beobachtet worden sind. — Man gieße in ein Uhrglas oder in eine Schale von Porzellan reines Quecksilber und darüber eine Auflösung von Kali, hierauf tauche man den negativen Draht einer Volta'schen Säule ins Quecksilber, während der positive Draht dem Quecksilber blos gegenüber in der Flüssigkeit sich befindet. Im Augenblick der Schließung der Kette tritt eine auffallende Ausbreitung des Quecksilbers ein, zugleich zeigt sich ein lebhafter Strom in der Flüssigkeit von dem positiven nach dem negativen Draht. — Wird der negative Draht aus dem Quecksilber herausgezogen, aber in der Lauge gelassen; so dauert dieser Strom noch eine Weile fort. Doch hört der Strom nach einiger Zeit gänzlich auf, wobei sich im Augenblicke des Aufhörens das Quecksilber etwas zusammenzieht. — Je länger der negative Draht mit dem Quecksilber in Verbindung geblieben ist, desto länger dauert der positive Strom, wenn der negative Draht aus dem Quecksilber gezogen und in der Lauge gelassen wird.

Wird, wenn der negative Draht mit dem Quecksilber in Berührung bleibt, der positive Draht auch in dasselbe eingetaucht, so zieht sich in dem nämlichen Augenblicke das Quecksilber zusammen und es ist bald Alles zur Ruhe gekommen. — Wenn man hierauf den negativen Draht außer Berührung mit dem Quecksilber in die Lauge zurückbringt, den positiven Draht aber mit dem Quecksilber in Berührung läßt; so sieht man das Quecksilber sich allmählig in einen größeren Raum ausbreiten. — Wird der positive Draht nunmehr wieder außer Berührung mit dem Quecksilber gebracht, die Kette aber in der Lauge geschlossen erhalten, so beharrt das Quecksilber in jener Ausbreitung, wobei außer der Gasentwickelung an den Drähten nichts weiter zu bemerken ist. — Kommt darauf der negative Draht mit dem Quecksilber in Berührung, so zieht sich das Quecksilber mehr oder weniger schnell wieder zusammen.

Bleibt der negative Draht mit dem Quecksilber in Berührung, während der positive Draht dem Quecksilber nur bis zur Berührung genähert wird, so tritt ein Wechsel von Ausbreitungen und Zusammenziehungen des Quecksilbers ein. — Dergleichen Zuckungen des Quecksilbers folgen bei Anwendung stärkerer Säulen mit großer Raschheit aufeinander. — Wenn endlich gleich anfangs, ohne vorhergegangene Berührung des Quecksilbers mit einem Polardrahte, die Kette blos in der Lauge geschlossen wird; so nimmt man bald gar keine, bald nach dieser bald nach jener Richtung hingehende Strömungen in der Flüssigkeit wahr. — Außerdem scheint eine Anziehung des Quecksilbers nach dem positiven Pol hin stattzufinden, welche sich theils in einer ruckweisen Bewegung des Quecksilbers, theils in einer Verlängerung desselben gegen jenen Pol zu erkennen gibt.

Wenn das Quecksilber mit Säuren bedeckt wird, so verhalten sich die Erscheinungen auf die entgegengesetzte Weise von denen, welche bei der Bedeckung des Quecksilbers mit alkalischen Laugen wahrgenommen werden. Wenn die Kette blos in concentrirter Schwefelsäure geschlossen wird, so findet eine Anziehung des Quecksilbers nach dem negativen Pol statt, welche in einer zuckenden Bewegung des Quecksilbers besteht und bei stärkeren Säulen mit einer sichtlichen Verlängerung verbunden ist. — Zugleich beginnt ein lebhafter Strom von dem negativen nach dem positiven Drahte. Dieser Strom dauert fort, so lange die Säule in Wirksamkeit ist. — Nach Herschels Erfahrungen sollen diese Strömungen ein empfindliches Mittel abgeben, das Dasein schwacher elektrischer Ströme zu entdecken, indem eine äußerst geringe Kraft hinreicht, sie zu erzeugen.

Wenn der negative Draht mit dem Quecksilber in Berührung gebracht und der positive Draht blos in die Säure getaucht wird, so tritt eine auffallende Zusammenziehung des Quecksilbers ein und der Strom hört augenblicklich auf. — Wenn der positive Pol mit dem Quecksilber in Berührung kommt, so tritt eine auffallende Ausbreitung des Quecksilbers ein; zugleich verwandelt sich jener lebhafte aus elliptischen Strudeln bestehende Strom, welchen man wahrnimmt, so lange beide Drähte in der Säure den Kreis schließen, in einen geradlinigen Strom von geringerer Geschwindigkeit. — Wird, während der negative Draht mit dem Quecksilber in Berührung bleibt, auch der positive Draht mit demselben in Berührung gebracht; so breitet sich das Quecksilber aus und es tritt keine weitere Strömung ein. — Diese Ausbreitung nimmt zu, wenn man nunmehr den negativen Draht außer Berührung mit dem Quecksilber in die Säure zurückbringt; zugleich beginnt der vorhin erwähnte Strom wieder. Dabei bedeckt sich das Quecksilber an der Eintauchungsstelle des positiven Drahts mit Gasblasen; was nicht der Fall ist, wenn beide Drähte mit dem Quecksilber in Berührung stehen.

## V. Elektrochemie.

### 1. Elektricitätserregung durch chemische Processe.

Mehrere Physiker sehen die chemische Action als die wahre Ursache der hydroelektrischen Ströme an. Folgende Versuche sollen als Beweise für die Richtigkeit dieser Ansicht gelten. — Man tauche in ein mit verdünnter Salpetersäure gefülltes Gefäß eine Platte von Gold und eine Platte von Platin, welche beide mit einem Galvanometer verbunden sind. Die Unbeweglichkeit der Magnetnadel zeigt, daß kein elektrischer Strom stattfindet, weder das Gold noch das Platin wird angegriffen. — Hierauf gieße man in der Nähe der Goldplatte einen Tropfen Salzsäure in die Flüssigkeit; sofort erleidet die Magnetnadel eine Ablenkung und kündigt einen Strom an, welcher im Leitungsdraht vom Platin zum Gold geht. — Die chemische Wirkung zwischen der Säure und dem Metall ruft eine elektromotorische Kraft hervor, wobei das Metall negativ und die Säure positiv wird; und zwar hält der elektrische Strom so lange an wie die chemische Wirkung dauert.

In eine Auflösung von schwefelsaurem Kupferoxyd tauche man eine Zinkplatte und eine Platinplatte, die mit einem Galvanometer verbunden sind. Es bildet sich schwefelsaures Zinkoxyd und das Kupfer setzt sich im regulinischen Zustande auf der Platinplatte ab. Zugleich zeigt die Ablenkung der Nadel einen Strom an, welcher im Leitungsdrahte vom Platin zum Zink geht: es wird also das angegriffene Metall negativ elektrisch und die Säure positiv. — Dasselbe Resultat erhält man, wenn man Platin und Zink in verdünnte Schwefelsäure eintaucht; desgleichen wenn Platin und Kupfer in verdünnte Salpetersäure gestellt werden; ferner wenn man Kupfer und Zink in verdünnte Schwefelsäure einsenkt: in allen diesen Fällen verhält sich das angegriffene Metall negativ, die Säure positiv elektrisch.

Um die elektrische Wirkung einer Säure auf ein Alkali wahrzunehmen, gieße man in ein Gefäß verdünnte Schwefelsäure und in ein anderes eine Kaliauflösung. Hierauf verbinde man die Flüssigkeiten beider Gefäße durch einen mit Wasser befeuchteten Streifen Asbest, tauche in jedes Gefäß eine Platinplatte und setze diese mit den Enden eines Galvanometerdrahtes in Verbindung. Die Flüssigkeiten steigen in dem Asbeststreifen durch Capillarattraction in die Höhe und vereinigen sich zu schwefelsaurem Kali; man bemerkt alsdann eine Ablenkung der Magnetnadel, welche darauf hindeutet, daß die Säure positiv, die Kalilösung negativ elektrisch geworden ist. Eine Säure verhält sich also zu einem Alkali, mit dem sie sich verbindet, wie zu einem Metall, welches von ihr angegriffen wird. — Auf diese Art hat man gefunden, daß Salpetersäure positiv wird mit Salzsäure und alkali-

schen Lösungen, dagegen negativ mit Schwefelsäure und Phosphorsäure. Wasser verhält sich gegen Säuren wie ein Alkali, gegen Alkalien wie eine Säure. — Füllt man zwei Gefäße mit salpetersaurer Kupferauflösung, verbindet sie durch einen Asbeststreifen und taucht in jede das Ende eines reinen Kupferstreifens; so erfolgt kein Strom. Wenn man aber einen Tropfen Salpetersäure in ein Gefäß fallen läßt, wird das daselbst befindliche Drahtende negativ elektrisch. — Durch mancherlei Versuche dieser Art hat man geschlossen, daß zwei Körper bei ihrer chemischen Verbindung entgegengesetzte elektrische Zustände annehmen und dieselbe so lange bewahren, als die chemische Action dauert.

Verbindet man mit den Drahtenden eines Galvanometers eine Zinkplatte und eine Platinplatte, welche beide in verdünnter Schwefelsäure stehen; so geht der Strom im Schließungsdrahte vom Platin nach dem Zink und in der Flüssigkeit vom Zink nach dem Platin. Faßt man nun blos den Theil des Stroms ins Auge, welcher in der Kette selbst liegt, so sagt man, da derselbe vom Zink zum Platin gerichtet ist, daß Zink in Bezug auf Platin ein positives, das Platin in Bezug auf Zink ein negatives Metall ist. Der chemischen Ansicht zu Folge wäre mithin von zwei festen Körpern, die in einer Flüssigkeit zur Kette mit einander verbunden werden, der am stärksten angegriffene jedesmal der positiv elektrische; oder die meiste Elektricität würde stets an demjenigen Metalle erregt, auf welches die stärkste chemische Action ausgeübt werde.

## 2. Elektricitätsentwickelung nicht immer die Folge einer chemischen Action.

Obschon aus den oben angeführten Versuchen hervorzugehen scheint, daß in der hydroelektrischen Kette chemischer Proceß und elektrische Thätigkeit in einem gewissen Zusammenhange stehen; so darf uns jedoch ein derartiger Zusammenhang noch nicht veranlassen, die Ursache der Elektricität einzig und allein in der chemischen Action zu suchen. Denn es liegen Erfahrungen vor, welche sich mit dieser Ansicht nicht gut in Uebereinstimmung bringen lassen. Dahin gehört zunächst der von de la Rive, dem eifrigsten Vertheidiger der in Rede stehenden Theorie, angeführte Versuch, bei welchem in die zwei Schenkel einer Röhre mit aller Vorsicht concentrirte Schwefelsäure und Salpetersäure übereinander gegossen, alsdann in die erstere Zink, in die letztere Kupfer eingetaucht und zur Kette geschlossen werden. — Das Kupfer wird von der Salpetersäure viel stärker als das Zink von der Schwefelsäure angegriffen, und doch tritt das Zink positiv auf, indem der Strom wie in der gewöhnlichen Kette vom Zink durch die Säure zum Kupfer geht.

Gegen die chemische Theorie spricht ebenfalls der von Berzelius mit einem Becherapparate angestellte Versuch. Man gieße in eine Reihe von Bechern eine concentrirte Auflösung von salzsaurem Kalk und über diese mit aller Vorsicht verdünnte Salpetersäure; hierauf tauche man in jene Becher einen Kupferstreifen, an den ein Zinkstreifen angelöthet ist, dergestalt, daß letzterer blos in der Auflösung des salzsauren Kalks sich befindet, während der Kupferstreifen durch die verdünnte Salpetersäure geht und mit seinem gebogenen Ende in die Salpetersäure des folgenden Bechers taucht. — Bei Schließung der Kette zeigt sich das Zink wieder positiv elektrisch, ungeachtet das Zink von salzsaurem Kalke fast gar nicht angegriffen wird, dagegen die verdünnte Salpetersäure einen starken Angriff auf das Kupfer ausübt.

Ein Gegenbeweis gegen die chemische Theorie haben wir auch in der Entstehung der elektrischen Ströme, wenn ein Bogen von einem homogenen Metalle und zwei Flüssigkeiten, die selbst nicht chemisch auf das Metall einwirken, zur Kette geschlossen werden. Befinden sich nämlich zwei Platinstreifen an den beiden Drahtenden eines Galvanometers, wovon der eine in verdünnte Salpetersäure, der andere in eine Kalilauge eingetaucht ist, während beide Flüssigkeiten selbst durch einen mit schwefelsaurer Natronauflösung befeuchteten baumwollenen Faden mit einander in Verbindung stehen; so wird die Nadel abgelenkt und kündigt einen elektrischen Strom an, welcher von dem in die Kalilauge tauchenden Platin in die Lauge, von da durch den baumwollenen Faden in die Säure und von dieser an das in sie eingetauchte Platin durch den Galvanometer in das erste Platin geht. — Die Elektricitätserregung kann nicht von der chemischen Einwirkung der Salpetersäure auf das schwefelsaure Natron herrühren. Denn man erhält ganz denselben Erfolg, wenn die beiden Flüssigkeiten durch einen mit einer Auflösung von Salpeter befeuchteten baumwollenen Faden miteinander in Verbindung gesetzt werden.

Der Erfolg in den vorstehenden Versuchen läßt sich, ohne seine Zuflucht zur Mitwirkung einer chemischen Action zu nehmen, nach der Contacttheorie auf eine befriedigende Weise erklären, wenn man erwägt, daß die Metalle mit den Laugen stärker elektronegativ in der Berührung erregt werden, als mit den Säuren. Der von der Kalilauge ausgehende Strom ist demnach viel stärker als der von der Säure herkommende, was die resultirende Wirkung des Stromes von der Lauge nach der Säure zur Folge hat. — Man muß also zugeben, daß durch Berührung zweier heterogener Körper, zwischen denen kein eigentlicher chemischer Vorgang stattfindet, Elektricität erregt werde. Es läßt sich aber auch nicht in Abrede stellen, daß die chemische Action Elektricität hervorrufe. Im Uebrigen hat es seine Schwierigkeit, den wahren Antheil des Chemismus an der

Elektricitätserregung in das gehörige Licht zu setzen, weil es keine chemische Action ohne Berührung gibt. — Wahrscheinlich ist die Berührung der Elektromotoren zunächst die Veranlassung des in ihnen gestörten elektrischen Gleichgewichtes und der dabei vorkommende chemische Proceß ein weiterer Vorgang, als solcher zum Freiwerden der Elektricität nöthig ist. Die wahre Quelle der galvanischen Elektricität wäre demnach zu suchen in der Wirksamkeit der Molecularkräfte in dem Zustande, bei welchem deren Wirkungssphären in einander greifen. — Bei den miteinander in Berührung stehenden Materien werden deren Molecule elektrisch polarisirt, oder mit anderen Worten, die Bestandtheile der Molecule werden in eine bestimmte Richtung gegen einander gebracht, bei welcher jene Bestandtheile zugleich mit entgegengesetzten Elektricitäten geladen erscheinen. Die damit verbundene Bewegung ist demnach der Grund des Freiwerdens von Elektricität und gleichzeitig eine Art Vorläufer einer chemischen Action. Auch ist ein chemischer Proceß ohne Molecularbewegung gar nicht denkbar. Doch ist damit nicht gesagt, daß das Freiwerden von Elektricität nothwendig chemische Wirkungen mit sich führe: sie können beide gleichzeitig in Folge einer vorausgegangenen Molecularveränderung zum Vorschein kommen; im Allgemeinen sind sie aber keine in einem unzertrennlichen Zusammenhange stehende Erscheinungen.

## 3. Intensität der Elektricität in der galvanischen Kette.

Einen Beweis für die Richtigkeit der Ansicht, daß die chemische Action als die Quelle der Elektricität zu betrachten sei, wollen Einige darin finden, daß die Intensität der Elektricität der eigenthümlichen Intensität der jedesmal thätigen Verwandtschaft proportional zu nehmen. Einige Versuche, welche dieser Ansicht als Stützen dienen können, sind folgende. — Man tauche in verdünnte Schwefelsäure gleichzeitig zwei Zinkplatten, welche mit den Drahtenden eines Galvanometers verbunden sind: die Magnetnadel zeigt keinen Ausschlag an, wenn die beiden Metallplatten gleich groß sind. — Dagegen erkennt man an der Ablenkung der Magnetnadel das Vorhandensein eines elektrischen Stromes, wenn die eine Zinkplatte bedeutend größer ist als die andere, und zwar verhält sich dabei die größere Platte als positiv elektrisch. — Die chemische Action hat einen um so höheren Grad der Intensität, je mehr Masse die angegriffene Substanz besitzt, was einen verhältnißmäßig stärkeren elektrischen Strom nach sich zu ziehen scheint.

Man tauche in verdünnte Schwefelsäure eine Zinkplatte und eine Platinplatte, die wieder mit den Drahtenden eines Galvanometers in Verbindung stehen. Eine blose Vergrößerung der Zinkplatte und Platinplatte gibt einen stärkeren Ausschlag der Magnetnadel; doch viel bedeutender wird

dieser Ausschlag, wenn man einige Tropfen Salpetersäure zur Schwefelsäure hinzugießt. Es scheint demnach die Intensität des elektrischen Stromes von der Stärke der in Thätigkeit gesetzten Verwandtschaften abhängig zu sein. Aus den Resultaten der beiden vorhergehenden Versuche und anderen ähnlicher Art glaubt man schließen zu dürfen, daß die Intensität des galvanischen Stromes einerseits der Stärke der ihn hervorbringenden Verwandtschaften und anderseits der Masse der angegriffenen Substanz proportional sei, welche während seiner Entwickelung chemisch thätig ist.

Es lassen sich aber ebenfalls wieder Thatsachen für die entgegengesetzte Ansicht anführen, daß nämlich die Intensität der Elektricität durchaus nicht der Stärke der jedesmal thätigen Verwandtschaft proportional ist. In einer Daniell'schen Kette z. B., bei welcher das Kupfer in einer Lösung von Kupfervitriol steht, behält der elektrische Strom dieselbe Stärke, mag man das Zink in Wasser oder in verdünnte Schwefelsäure stellen. Wäre nun der elektrische Strom die Folge einer vorhergegangenen chemischen Einwirkung, so müßte derselbe bei Anwendung der verdünnten Säure beträchtlicher als bei jener des Wassers sich herausstellen. — Einen weiteren Beleg dafür, daß die Intensität der Elektricität mit der zu ihrer Erregung beitragenden chemischen Affinität nicht immer gleichen Schritt hält, liefert der nachstehende Versuch. Eine Zink-Kupferplatte werde mittelst eines Galvanometers von beträchtlicher Drahtlänge einmal in ganz schwach salpetersaurem Wasser, das andere Mal in stark mit rauchender Salpetersäure versetztem Wasser geschlossen. Der galvanische Strom bei Anwendung der ganz schwachen Säure ist intensiver als der Strom bei Anwendung der starken Säure und doch hat die letztere Flüssigkeit eine größere Leitungsfähigkeit als die erstere. Der Versuch zeigt also auf unzweifelhafte Weise, daß unter Umständen bei Verstärkung der chemischen Wirkung die Intensität der Kette abnimmt, statt zuzunehmen. Wir müssen mithin zugeben, daß die Salpetersäure an den Metallen eine Veränderung bewirkt, in Folge derer ihre elektromotorische Kraft verringert wird. Wir werden also, wie oben wieder darauf hingewiesen, in dem chemischen Processe nicht einzig und allein die Quelle der Elektricität aufzusuchen, vielmehr zwischen dieser selbst und der chemischen Action einen Unterschied zu machen und keineswegs chemische Affinität und Elektricität für identisch zu halten.

## 4. Elektrochemische Theorie.

Die elektrochemische Theorie, welche von Berzelius und Davy aufgestellt und ausgebildet wurde, leitet die chemischen Erscheinungen aus der Thätigkeit elektrischer Kräfte ab. Wie Zink und Kupfer in Berührung gebracht entgegengesetzt elektrisch werden, so nehmen alle Stoffe bei der Berührung die entgegengesetzten Elektricitäten an. — Alle Körper bilden

in dieser Hinsicht eine große Reihe, in welcher jeder vorangehende gegen jeden folgenden elektronegativ ist. Eine solche Reihe für die einfachen Stoffe ist nachstehende: Sauerstoff, Schwefel, Selen, Stickstoff, Fluor, Chlor, Brom, Jod, Phosphor, Bor, Kohlenstoff, Gold, Platin, Silber, Quecksilber, Kupfer, Wismuth, Eisen, Zinn, Blei, Kobalt, Nickel, Zink, Wasserstoff, Mangan, Uran, Aluminium, Magnesium, Calcium, Lithium, Natrium, Kalium. — In dieser Reihe, welche der eigentlichen galvanischen Reihe parallel läuft, ist der elektronegativste Körper der Sauerstoff, der elektropositivste das Kalium. — In der einen wie in der andern Reihe ist die elektrische Differenz zweier Körper um so größer, je weiter sie in der Reihe von einander entfernt sind.

Je weiter zwei Stoffe in der Reihe von einander liegen, eine desto größere Verwandtschaft haben sie zu einander. So hat Chlor z. B. mehr Affinität zum Kohlenstoff als zum Phosphor, eine noch stärkere aber zum Wasserstoff. Die stärkste chemische Wirkung zeigt sich zwischen Sauerstoff und Kalium; weßhalb sich diese beiden Stoffe so leicht mit einander vereinigen. — Je näher zwei Körper in der Reihe einander stehen, desto ähnlicher sind sie sich hinsichtlich ihres chemischen Verhaltens. So z. B. ist Chlor dem Brom ähnlicher als dem Kohlenstoff. — Wenn zwei einfache Stoffe eine binäre Verbindung eingehen, z. B. ein negatives Sauerstofftheilchen und ein positives Wasserstofftheilchen sich zu einem Wassertheilchen zusammensetzen; so binden sich die beiden entgegengesetzten Elektricitäten vollständig, weßhalb das Wassertheilchen keine freie Elektricität zeigen kann. — Nach dieser Anschauungsweise gibt sich jene Neutralisation der Elektricitäten als Licht und Wärme zu erkennen, wie wenn entgegengesetzte Elektricitäten von zwei Körpern zu einander überspringen. Der Unterschied besteht nur darin, daß im letzteren Falle das elektrische Licht zwischen den Oberflächen zweier ganzen Körper, im ersteren Falle das chemische Licht zwischen den Oberflächen der kleinsten Theilchen selbst überspringt, so daß sie sammt und sonders zu glühen scheinen.

Wenn zwei einfache Stoffe sich zu binären Verbindungen zusammensetzen, so zeigen sie elektronegative oder elektropositive Eigenschaften, je nachdem der elektronegative oder elektropositive Bestandtheil in ihnen vorherrscht. Binäre Verbindungen, welche sich durch negativ elektrische Eigenschaften charakterisiren, werden Säuren genannt; während diejenigen Verbindungen, welche sich elektropositiv verhalten, Basen heißen. — Der Sauerstoff bildet Säuren mit den am negativen Ende der Reihe liegenden Elementen, Basen mit den am positiven Ende stehenden Körpern: Schwefelsäure ist die stärkste aller Säuren, Kali die stärkste aller Basen. — Chlor, Schwefel liefern mit Sauerstoff Zusammensetzungen, die sich elektronegativ verhalten gegen Verbindungen des Eisens, des Zinks mit Sauer-

stoff. — Das elektrochemische Verhalten eines zusammengesetzten Körpers richtet sich nach der Quantität seines negativen Bestandtheiles. Manganoxydul $MnO$ z. B. hat basische Eigenschaften, dagegen Mangansäure $MnO_3$ entschieden elektronegativ sich zeigt, während Manganhyperoxyd $MnO_2$ es in minderem Grade ist.

Von den zusammengesetzteren Verbindungen läßt sich im Allgemeinen Aehnliches aussagen; ihr elektrochemisches Verhalten wird sich nämlich nach dem Verhältniß der darin vorkommenden einzelnen Bestandtheilen richten. Ein solcher zusammengesetzter Körper wird sich mithin um so mehr elektropositiv oder elektronegativ zeigen, je mehr er sich selbst mit positiven oder negativen Theilen verbindet. — Ein Beispiel möge die Sache erläutern. Das Wasser besteht aus positiven Wasserstofftheilchen und negativen Sauerstofftheilchen. Kommt nun ein Metall mit dem Wasser in Berührung, so ist der elektrische Gegensatz des erstern nicht stark genug, um eine Zerlegung des letztern zu bewirken und sich mit dessen Sauerstoff zu verbinden. Gießt man aber zu dem Wasser eine Säure, so geräth das Metall dadurch in einen erhöhten elektropositiven Zustand, der es fähig macht, den Sauerstoff des Wassers an sich zu ziehen und damit ein Oxyd zu bilden, welches sich mit der Säure zu einem Metalloxydsalz vereinigt. — Die elektrochemische Theorie setzt also ein elektromotorisches Verhalten bei allen Körpern voraus, die überhaupt chemisch aufeinander einwirken können; doch vermag sie keinen weiteren Aufschluß über die Entstehung der elektromotorischen Thätigkeit der beiden sich berührenden Körper anzugeben. — Die erste Erscheinung der beginnenden Thätigkeit wäre mithin die Störung des elektrischen Gleichgewichtes, in Folge derer der eine Körper überwiegend positiv, der andere überwiegend negativ elektrisch wird. Die freie elektrische Spannung dauert so fort, so lange es nicht zur chemischen Verbindung gekommen ist; sie verschwindet aber wie schon gesagt unter Wärme und Lichtentwickelung, wenn die wirkliche Verbindung eintritt. Hiernach befinden sich die eine chemische Verbindung eingehenden Bestandtheile gleichsam in einem doppelten Gegensatze, in einem elektrischen Gegensatze, vermöge dessen jene Bestandtheile die entgegengesetzten Elektricitäten angenommen haben, und in einem chemischen Gegensatze, vermöge dessen sie die chemische Verbindung einzugehen geneigt sind.

## VI. Praktische Anwendungen der Elektrolyse.

### 1. Galvanoplastik.

Unter Galvanoplastik versteht man das Verfahren, mittelst der elektrolytischen Action kupferne Copien von Münzen, Büsten, Gypsabdrücken, Holzschnitten u. s. w. herzustellen. Ein zur Galvanoplastik brauchbarer

Apparat ist ein constantes, meistens ein Daniell'sches Element, mit einem daneben stehenden hölzernen, inwendig mit Bleiplatten überzogenen Kasten, der mit einer concentrirten Lösung von Kupfervitriol gefüllt ist. Ueber dem Rande des Kastens liegen zwei Metallstäbe, von denen der eine P mit dem positiven, der andere N mit dem negativen Pole des Elementes leitend verbunden ist. An P hängt eine in die Flüssigkeit des Kastens tauchende Kupferplatte herab, welche die positive Elektrode bildet; während die Gegenstände, von denen man kupferne Abbildungen haben will, an dem Stabe N befestigt sind und beim Eintauchen in die Flüssigkeit die negative Elektrode bilden. — In Folge des circulirenden elektrischen Stromes schlägt sich das Kupfer in Form einer festzusammenhängenden Schichte an der negativen Elektrode nieder. Zugleich lösen der ausgeschiedene Sauerstoff und die Schwefelsäure einen verhältnißmäßigen Antheil von der die positive Elektrode ausmachenden Elektrode auf und führen dadurch die Kupfervitriollösung auf den gehörigen Grad von Concentration zurück. — Wenn der Niederschlag die gewünschte Dicke erreicht hat, was gewöhnlich nach Verlauf von einem Zeitraum von 18 bis 24 Stunden der Fall ist, wird er vorsichtig von dem Gegenstande losgetrennt, von welchem er dann einen vollständig genauen Abdruck liefert.

Münzen, gravirte Metallplatten u. dgl. lassen sich auf diesem Wege aufs Vollkommenste in Kupfer nachbilden. Doch ist es nicht gerade nöthig, das Original unmittelbar dem galvanischen Strome auszusetzen; der Kupferniederschlag kann selbst auf nicht leitenden Substanzen, wie Guttapercha, Stearin, Wachs oder Gyps geschehen, wenn diese Stoffe vorher auf ihrer Oberfläche mit einer leitenden Substanz, wie Graphit oder Kupferbronce, überzogen worden sind. — Nachdem man mit Hülfe des einen oder andern jener Stoffe einen wohlgelungenen vertieften Abdruck sich verschafft hat, wird derselbe mittelst eines feinen Pinsels mit der leitenden Substanz bestrichen und auf die oben angegebene Weise in das mit Kupfervitriollösung gefüllte Gefäß gestellt. Die metallischen Formen dürfen nicht aus Metallen bestehen, welche für sich von der Kupfervitriollösung angegriffen werden, wie Eisen und Zink. — Derjenige Theil des die Verbindung zwischen dem negativen Pol des Elementes und der Form herstellenden Kupferdrahtes, welcher in die Lösung von Kupfervitriol eingetaucht ist, muß mit Schellack oder Siegellack überzogen sein, damit sich auf demselben kein metallisches Kupfer absetzen kann; nur an der Stelle, an welcher er mit der Form in Berührung steht, muß er metallisch bleiben.

Die Abdrücke fallen desto besser aus, je gleichförmiger der Strom ist. Es ist unerläßlich, die Stärke des Stromes nicht über eine gewisse Grenze wachsen zu lassen, aber auch nicht allzu schwach zu machen. Durch Ein-

schaltung einer Boussole in den Schließungskreis vermag man sich über die Stärke des Stromes die erforderliche Auskunft zu verschaffen. — Zu größeren Gegenständen bedient man sich einer aus mehreren Elementen bestehenden Batterie, wobei die Form für den Kupferniederschlag mit der negativen Elektrode der Batterie in Verbindung gesetzt wird. — Das Kupfer muß sich langsam niederschlagen; deßhalb muß die Flüssigkeit, in welcher sich das Zink befindet, sehr verdünnt sein, etwa 40 Theile Wasser auf einen Theil Schwefelsäure enthalten. — Auch setzt sich das Kupfer zunächst um den Kupferdraht an; man muß daher von Zeit zu Zeit den Draht an einer anderen Stelle der Form aufsetzen.

Eine eigenthümliche Anwendung von der Galvanoplastik hat Kobell in München gemacht. Er malt nämlich in Tuschmanier mittelst einer Auflösung von Damarharz in Terpentinöl, der Eisenroth zugesetzt wird, auf eine polirte Kupferplatte so, daß die hellsten Stellen frei bleiben und die Farbe desto dicker aufgetragen wird, je dunkler der Schatten sein soll. Das fertig gemalte Bild wird mittelst eines feinen Pinsels mit fein gepulvertem Graphit überzogen, worauf es in den galvanoplastischen Apparat kommt. Das Kupfer schlägt sich hier auf der gemalten Platte nieder und bildet eine zweite Kupferplatte, auf welcher die Lichtpartieen der ersteren eben, die dunkeln Parthieen aber vertieft sind. Wird nun diese Platte wie eine gestochene Kupferplatte behandelt, so erhält man Abdrücke, welche dem in Tuschmanier gemalten Bilde ähnlich sehen.

## 2. Metallüberzüge auf galvanischem Wege.

Auf ähnlichen Grundsätzen beruht das Verfahren, Metallüberzüge auf galvanischem Wege zu erzeugen. Beim Vergolden bringt man in den galvanoplastischen Trog eine Lösung von Goldchlorid und Cyankalium, der man etwas reines Kochsalz beigesetzt hat. — Die Metalloberfläche, die vergoldet werden soll, muß wohl gereinigt sein. Zu diesem Behufe wird der zu vergoldende Gegenstand zunächst erhitzt, um von seiner Oberfläche alles Fett zu entfernen; alsdann in eine Mischung von 1 Theil Schwefelsäure und 12 Theilen Wasser gelegt, um das auf der Oberfläche durch das Erhitzen entstandene Metalloxyd wegzubringen; hierauf öfters mit einer Messingbürste gerieben, nachher in Wasser abgewaschen und endlich in warmem Sägemehl getrocknet. — Dergestalt vorbereitet kommt der Gegenstand in dem Trog mit dem negativen Pol der Kette in Verbindung, während ein mit dem positiven Pol derselben verbundenes Platinblech in die Mitte des Gefäßes taucht. Um die Lösung auf den gehörigen Grad der Concentration zu erhalten, wird ein am positiven Pol befestigtes dünnes Goldblech in dieselbe getaucht. Wird der zu vergoldende Gegen-

stand von Zeit zu Zeit herausgenommen und durch Reiben mit Weinstein gereinigt, so bekommt man eine sehr dauerhafte Vergoldung.

Beim Versilbern verfährt man ganz auf ähnliche Art, indem man 1 Theil Chlorsilber auf 6 Theile Cyankalium in 100 Theilen Wasser anwendet. — Beim Platiniren nimmt man am besten Platinsalmiak in Wasser. — Eiserne Geräthe werden vor dem Vergolden erst mit Kupfer überzogen, wozu eine Lösung von 1 Theil Kupfervitriol in 12 Theilen Wasser mit 2 Theilen Cyankalium in 16 Theilen Wasser gewonnen wird. — Um Eisen mit einem Messingüberzug zu bekleiden, taucht man das gereinigte mit dem negativen Pol einer Kette verbundene Stück in eine Cyankaliumlösung und stellt ihm gegenüber eine aus Kupfer und Zink zusammengesetzte Platte, die mit dem positiven Pol der Kette in Verbindung steht.

Die Anwendung der Galvanoplastik auf Nachbildung von Gegenständen der Kunst und der Natur ist heut zu Tage sehr verbreitet. Um Abdrücke von größeren Originalen zu erhalten, werden die Theile derselben einzeln nachgebildet und nachher zusammengesetzt. — Holzsachen wie Insecte verkupfert man, nachdem sie vorerst in salpetersaures Silber getaucht und hierauf in einen Raum gebracht worden sind, in welchem sich nicht selbst entzündliches Phosphorwasserstoffgas befindet. — Dieses Gas wird gewonnen, indem man Phosphorcalcium mittelst Chlorwasserstoffsäure zerlegt, oder phosphorige Säure erhitzt.

Bedeckt man eine glatte Kupferplatte mit einem Baumwollengewebe oder seidenem Zeuge, behandelt sie dann auf galvanischem Wege; so schlägt sich in den Zwischenräumen des Gewebes oder des Zeuges das Kupfer in den dünnsten Schichten nieder, welche dem Zeuge seine Biegsamkeit nicht benehmen. Den Kupferniederschlag kann man nach der Hand vergolden und auf solche Art Gewebe von dauerhaftem Metallglanz erhalten.

## 3. Metallochromie.

Man nennt Metallochromie das Verfahren Metallüberzügen die eine oder die andere Farbe auf galvanischem Wege zu verleihen. Die dazu nöthige Lösung wird bereitet, indem man fein gepulverte Bleiglätte in einer Aetzkalilösung aus 1 Theil Aetzkali auf 6 Theile Wasser in einem irdenen Gefäße zum Kochen bringt und dieses etwa ½ Stunde lang unter beständigem Umrühren unterhält, hierauf die Lösung filtrirt und in einem wohlverschlossenen Gefäße aufbewahrt. — Beim Gebrauche gießt man die Lösung in ein bleiernes oder messingenes Gefäß, verbindet den zu überziehenden Gegenstand mit dem positiven Pole einer dreipaarigen Daniell'schen Kette, nachdem man ihn sorgfältig mit Englischroth oder Wienerkalk gereinigt hat, senkt ihn dann in die Lösung und verbindet jetzt erst die Außenseite des Gefäßes mit dem negativen Pol. — Es entstehen schöne

Farbenringe, indem sich am positiven Pole Bleihyperoxyd in sehr dünnen Schichten niederschlägt. — Man muß die Stromstärke in der Art reguliren, daß die Bildung der Ringe langsam vor sich geht, um sicherer bei einer bestimmten Färbung den Strom unterbrechen zu können.

Die gebildete Färbung wird durch einen Firniß geschützt, den man bereitet, indem man 1/2 Litre Leinöl, 6 Grammes fein gepulverte Bleiglätte und 2 Grammes Zinkvitriol mehrere Stunden lang mäßig erhitzt und hierauf filtrirt. Von diesem Firniß werden zwei Schichten nach einander warm aufgetragen. — Die Farben der Ringe verändern sich, wenn sie sauren oder ammoniakalischen Dämpfen ausgesetzt werden. — Auf Glockenmetall fallen die Ringe sehr schön aus; Zinn bedarf jedoch vorher einer dünnen Vergoldung. — Messingene Gegenstände dürfen nur nach und nach mit dem scharfen Rande voraus in die Lösung bei schon geschlossener Kette gesenkt werden.

Die Farben der Ringe ändern sich mit der Dicke der Niederschläge des Bleihyperoxyds; sie sind roth, violett, gelb, grün und äußerst lebhaft. Will man blaue Farbentöne erhalten, so ist es nöthig, vorerst die Metallstücke mit einer dünnen Platinschichte zu versehen und hierauf zur Bildung der Farbenringe zu schreiten. — Die Farben entwickeln sich schnell bei wenigen Elementen, wenn man kleine Platinbleche als Elektroden anwendet. Bei dem Gebrauch feiner in Glas bis an die Spitze eingeschmolzener Platindrähte sind mehr Elemente nöthig; man erhält aber dann sehr schöne Ringe.

Böttger erhielt schöne einfarbige Ueberzüge auf Platin aus verschiedenen Manganoxydulsalzen, wobei die am positiven Pole befindliche Platinplatte in die Lösung gelegt wurde und die negative Platte ihr gegenüberstand. — Um den einen oder den andern Farbenton zu bekommen, braucht man blos den Versuch bei der beliebigen Farbe zu unterbrechen. — Um die farbigen Ringe auf Stahlplatten zu erzeugen, begießt man sie mit einer Grünspanlösung in Essig, berührt sie dann an verschiedenen Stellen mit einem Zinkstäbchen und erwärmt sie über einer Weingeistlampe. Dabei entwickeln sich allmählig verschiedene Farben, so daß man bei der einen oder der andern Farbe stehen bleiben kann.

## 4. Gewinnung der Metalle aus ihren Erzen auf galvanischem Wege.

Eine anderweitige technische Anwendung der Elektrolyse ist die Gewinnung der Metalle aus ihren Erzen. — Um metallisches Kupfer zu gewinnen, verwandelt man zuerst das Kupfererz durch Behandlung mit Schwefelsäure in Kupfervitriol; bringt dann eine Lösung desselben in ein Gefäß, das durch eine poröse Scheidewand mit einem andern mit Eisenvitriol gefüllten in Verbindung steht. In das erste stellt man eine Blei-

tafel, in das zweite eine Platte von Gußeisen und verbindet hierauf beide Platten leitend mit einander. Durch die elektrolytische Action dieses Elementes bildet sich an der Bleitafel ein Niederschlag von Kupfer. Dergleichen Elemente stehen in Menge nebeneinander; die Flüssigkeiten werden den Apparaten stets in der erforderlichen Concentration zugeführt, dagegen die geschwächte Kupfervitriollösung und die gesättigte Eisenvitriollösung fortwährend abgeleitet.

Will man metallisches Silber erhalten, so behandelt man das Silbererz mit concentrirter Salpetersäure, wodurch man salpetersaures Silberoxyd bekommt. Hierauf fällt man diese Lösung mit einer Auflösung von Kochsalz, wobei zunächst unlösliches Chlorsilber gebildet wird. Letzteres besitzt die Eigenschaft in einer gesättigten Kochsalzlösung löslich zu sein. Eine derartige Lösung bringt man dann in ein Gefäß, welches durch eine poröse Scheidewand mit einem andern Gefäß verbunden ist. In das erstere stellt man Kupfer und in das zweite ein Stück gut gebrannter Kohle. Durch die elektrolytische Action dieses Elementes schlägt sich am Kupfer das Silber regulinisch nieder.

In ähnlicher Weise geschieht die Gewinnung des Bleies aus seinen Erzen. Durch Behandlung des Bleiglanzes mit Salpetersäure wird derselbe in unlösliches schwefelsaures Bleioxyd verwandelt, welches wie das Chlorsilber die Fähigkeit besitzt, sich in einer gesättigten Kochsalzlösung aufzulösen. Diese Lösung kommt abermals in ein Gefäß, das durch eine poröse Scheidewand mit einem andern Gefäß in Verbindung steht. In dem ersteren befinden sich Kupferplatten, in dem zweiten Stücke von gebrannter Kohle. In Folge der elektrolytischen Action hinsichtlich der elektrischen Spannungsreihe wird sich das Blei im metallischen Zustande an der Kohle ablagern.

# Vierter Abschnitt.

# Vom Magnetismus.

## I. Vom Magnetismus überhaupt.

### 1. Allgemeine magnetische Erscheinungen.

Schon in den ältesten Zeiten wußte man, daß gewisse Eisenerze die merkwürdige Eigenschaft besitzen, anderes Eisen anzuziehen und mit mehr oder weniger Kraft festzuhalten. Man nannte solche Körper Magnete nach der Stadt Magnesia in Kleinasien, wo sie zuerst gefunden wurden;

und die Kraft, welche sie äußern, magnetische Kraft oder Magnetismus. — Die mit dem Magnetismus von Natur aus begabten Eisenerze werden natürliche Magnete oder Magneteisensteine genannt; sie sind aus gleichen Aequivalenten Eisenoxyd und Eisenoxydul zusammengesetzt. — Manche Körper lassen sich durch gewisse Mittel für die Dauer in einen Zustand versetzen, in welchem sie alle Eigenschaften der natürlichen Magnete zeigen; dergleichen Körper sind dann magnetisirt und werden künstliche Magnete genannt. — Die künstlichen Magnete können von größerer Stärke sein als die natürlichen; deßhalb werden bei den Untersuchungen über Magnetismus nur künstliche Magnete gebraucht, die gewöhnlich in der Form von geraden oder hufeisenförmig gebogenen Stäben zur Anwendung kommen.

Die magnetische Kraft äußert sich schon in gewisser Entfernung vom Magnete. Man überzeugt sich davon, wenn man ein kleines Kügelchen von weichem Eisen an einem leicht biegsamen Faden aufhängt und dann dem Magnete nähert; es wird von demselben angezogen, wofern es nicht in eine zu große Entfernung von ihm zu stehen kommt, und bleibt nach erfolgter Berührung an ihm haften. — Die magnetischen Wirkungen dringen ungestört durch andere Körper hindurch, welche nicht selbst magnetisch werden, wie Holz, Papier, Glas, Luft, als ob diese Körper gar nicht vorhanden wären. — Die Aeußerung der magnetischen Kraft durch fremdartige Körper hindurch wird nicht selten von Taschenspielern benutzt, um ihr Publikum damit in Staunen zu versetzen. — Leicht bewegliche eiserne Zeiger eines Uhrzifferblattes kann man verstellen, ohne sie zu berühren, wenn man denselben einen Magnet in die Nähe bringt.

Ein Magnet hat nicht an allen Stellen seiner Oberfläche einerlei Stärke. Um dies zu zeigen, lege man einen Magnetstab in Eisenfeile; beim Herausnehmen wird man sehen, wie die Eisenfeile vorzugsweise an den beiden Enden hängen bleibt und in der Mitte ganz abfällt. — Dieselbe Thatsache kann man beobachten, wenn man den Magnetstab mit Papier bedeckt und Eisenfeile auf dessen Oberfläche streut. Die stärkste Anziehung wird sich an den beiden Enden des Stabes zeigen, während der mittlere Theil keine Wirkung ausübt. — Die Stellen der stärksten Wirksamkeit heißen die Pole des Magnetes. In der Regel besitzt der Magnet blos zwei Pole; nur ausnahmsweise kommen an demselben Magnete mehr als zwei Pole vor, diese werden Folgepunkte genannt und der Körper selbst ist dann unregelmäßig magnetisirt. — Die rings um den Magnetstab herumlaufende Linie, in welcher die magnetische Wirkung verschwindet, heißt die neutrale Linie oder Indifferenzlinie.

Von der Ungleichheit der Stärke der magnetischen Kraft an den verschiedenen Stellen der Oberfläche eines magnetisirten Stabes überzeugt

man sich auch, wenn man das an einem Faden hängende Eisenkügelchen successiv den verschiedenen Querschnitten des Magnetstabes gegenüberstellt. Bei gleicher Entfernung zwischen Magnet und Eisenkügelchen findet man, daß die Größe der Ablenkung mit dem Querschnitte sich ändert. Die Mitte des Magnetstabes äußert keinen merklichen Einfluß; den Enden des Stabes gegenüber gehalten wird das Kügelchen am stärksten aus seiner verticalen Lage abgelenkt, dagegen desto schwächer, je weiter die Querschnitte von den Enden entfernt sind. — In der Richtung der magnetischen Kraft findet ebenfalls eine Verschiedenheit an den verschiedenen Stellen des Magnets statt. Um diese Thatsache nachzuweisen, lege man ein Stückchen feinen Eisendrahtes in ein Glaskügelchen mit dünnen Wänden. An den Polen stellt sich das Drahtstückchen senkrecht gegen die Fläche des Magnets; in der Mitte desselben bleibt es liegen, dagegen es weiter von der Mitte ab eine schiefe Stellung gegen die Seitenfläche des Magnets annimmt.

Hängt man einen geraden Magnetstab mit Hülfe einer Hülse von Papier so auf, daß er sich in einer horizontalen Ebene drehen kann; so richtet er sich immer mit einem Pole gegen Norden, mit dem andern gegen Süden. Man nennt deßhalb den ersteren Pol den **Nordpol**, den letzteren den **Südpol** des Magnetes; und diese Eigenschaft überhaupt **magnetische Polarität**. — Die Verticalebene, in welcher die Pole des in der Gleichgewichtslage befindlichen Magnetstabes liegen, heißt der **magnetische Meridian**. Der magnetische Meridian fällt nicht mit dem geographischen zusammen. — Der Neigungswinkel zwischen beiden Ebenen für einen bestimmten Punkt der Erdoberfläche heißt die **magnetische Abweichung** oder **Declination**; sie ist östlich oder westlich, je nachdem die nach Norden gerichtete Hälfte des Magnetstabes auf der Ost- oder Westseite des geographischen Meridians liegt. — Der an einem Faden hängende Magnetstab kann auch durch eine **Magnetnadel** ersetzt werden, welche gewöhnlich die Gestalt einer langgestreckten Raute hat und mittelst des in ihrer Mitte befestigten Achathütchens auf einer feinen Stahlspitze ruht. Sich selbst überlassen stellt sie sich nach einer Reihe von Schwingungen zuletzt so, daß ihre **magnetische Achse** oder die gerade Linie, welche die beiden Pole des Magnetes verbindet, in die Ebene des magnetischen Meridians fällt.

Nähert man dem Nordpole eines beweglichen Magnetstabes den Nordpol eines andern Magnetes, so äußert sich zwischen beiden Polen eine Abstoßung. Dasselbe findet bei den Südpolen statt. Dagegen herrscht zwischen einem Nordpole und einem Südpole Anziehung. Hieraus ergibt sich folgendes Gesetz: Gleichnamige Pole zweier Magnete stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen sich gegenseitig an. — In Folge dieses Gesetzes

richten sich zwei bewegliche Magnetstäbe, wenn sie hinlänglich nahe zu einander sind, jederzeit so, daß ihre ungleichnamigen Pole einander zugekehrt sind. — Auch gibt uns das Gesetz ein sicheres Mittel an die Hand zu erkennen, ob ein Körper magnetische Kraft besitze oder nicht. Man braucht nur den fraglichen Körper einem beweglichen Magnet zu nähern und zu sehen, ob bei irgend einem Punkte eine Abstoßung erfolgt. Nur in diesem Falle ist der Körper magnetisch. Auf die Anziehung kann man bei dieser Untersuchung sich nicht mit Sicherheit verlassen. — Die Pole zweier Magnete, welche eine Anziehung auf einander äußern, werden freundschaftliche, und diejenigen, welche eine Abstoßung auf einander ausüben, feindschaftliche Pole genannt.

Legt man unterhalb eines beweglichen Magnetstabes einen zweiten stark magnetisirten Stab in irgend eine beliebige Richtung, so stellt sich der bewegliche Stab in eine zu jener des andern parallelen Lage, so daß die ungleichnamigen Pole beider Magnete übereinander zu liegen kommen. — Dieser Versuch führt uns zu dem Schlusse, die Erde gleichsam als einen großen Magnet anzusehen, unter dessen Einflusse ein freischwebender Magnetstab sich so wendet, daß die ungleichnamigen Pole der Erde und des Stabes einander zunächst stehen. — Wenn wir daher den nach Norden sich kehrenden Pol des beweglichen Magnets Nordpol nennen, so muß der gegen Norden gelegene magnetische Pol der Erde Südpol heißen. — Den Franzosen hat es gefallen, den nach Norden liegenden Pol der Erde Nordpol zu nennen; sie sind daher genöthigt, dem nach Norden sich kehrenden Pole des frei beweglichen Magnets den Namen Südpol beizulegen.

Wird ein Magnetstab genau in seinem Schwerpunkte so aufgehängt, daß er sich sowohl in horizontaler als in verticaler Richtung bewegen kann; so bemerkt man, daß in der Gleichgewichtslage des Stabes der Nordpol unter die durch den Schwerpunkt gehende horizontale Ebene sich herabsenkt. — Der Winkel, welchen der Stab mit dem Horizont macht, wird die magnetische Neigung oder Inclination genannt. — Die Inclination beträgt in unseren Gegenden ohngefähr 70 Grade. — Eine Ebene, welche senkrecht gegen die Richtung der Inclination gelegt ist, heißt der magnetische Aequator.

## 2. Magnetisirung durch Vertheilung. — Coërcitivkraft.

Das weiche Eisen wird unter dem Einfluß eines Magnets selbst ein Magnet. Man spanne ein längliches Prisma von weichem Eisen in ein entsprechendes Statif dergestalt ein, daß es in verticaler Lage festgehalten wird. Hält man nun über das obere Ende des Prismas den einen Pol eines kräftigen Magnetstabes, während das untere Ende des Prismas in ein Gefäß mit Eisenfeile getaucht wird; so bleibt nach Entfernung des

Gefäßes die Eisenfeile in Büschelform an dem Prisma hängen, woraus hervorgeht, daß dasselbe magnetisch geworden ist. — Untersucht man die Beschaffenheit des Magnetismus an dem weichen Eisen, so findet man, daß das dem Pole des magnetisirten Stabes zunächst liegende Ende den ungleichnamigen, das andere Ende den gleichnamigen Pol hat. — Diese Magnetisirung oder Polarisation durch Vertheilung verschwindet vollständig, wenn man das weiche Eisen dem Einflusse des Magnetstabes entzieht. — Die Erscheinung tritt nicht erst bei der Berührung des Eisen mit dem Magnetpole zu Tage, sondern schon während seiner Annäherung an den Magnetpol.

Diese vorübergehende Magnetisirung weicher Eisenstäbe läßt sich ebenfalls durch folgende Versuche zur deutlichen Anschauung bringen. An den einen Pol eines starken Magnetstabes hänge man ein kleines Cylinderchen von weichem Eisen auf. Dasselbe wird magnetisch und dadurch fähig, ein zweites Cylinderchen zu tragen; dieses zweite trägt ein drittes u. s. w., so daß in der magnetischen Kette sich immer die ungleichnamigen Pole berühren. — Die Magnetisirung wird um so schwächer, je weiter die Cylinderchen von dem Magnetstabe entfernt sind. — Die aneinander hängenden Cylinder fallen augenblicklich auseinander, sobald die Verbindung des ersten Cylinderchens mit dem Magnetpole unterbrochen wird, zum Beweise, daß sie alsdann sämmtlich aufhören magnetisch zu sein. — Mit einem hufeisenförmigen Magnete läßt sich auf diese Weise eine Kette von einem Pole zum andern bilden.

Man hänge zwei Eisendrähte an zwei Seidenfäden parallel nebeneinander auf und nähere ihnen dann von unten her den einen Pol eines stark magnetisirten Stabes. Die beiden Eisendrähte entfernen sich von einander, da sie zu Magneten werden, deren gleichnamige Pole einander zugekehrt sind. — Die Eisendrähte nehmen die verticale Lage wieder an, wenn man den Magnetstab entfernt, weil der magnetische Einfluß dann aufhört. — Die entgegengesetzte Wirkung der beiden Pole legt nachstehender Versuch deutlich vor Augen. An den Nordpol eines Magnets hänge man ein Stück Eisen und verschiebe hierauf einen Magnetstab von ohngefähr gleicher Stärke in paralleler Lage auf dem ersteren so, daß der Südpol des oberen allmählig dem Nordpol des untern näher rückt. — Alsbald wird das bisher getragene Stück Eisen abfallen, indem die entgegengesetzten Wirkungen der beiden Pole einander aufheben und dadurch das Eisen in den natürlichen Zustand zurückkehrt.

Die Wirkung eines Magnetpols auf eine seinem Einflusse ausgesetzte Reihe von Eisenstücken hat viel Aehnlichkeit mit der Erscheinung, welche eine Reihe von isolirten Leitern darbietet, die innerhalb der Wirkungssphäre einer elektrisirten Kugel stehen. Wie hier die dem elektrisirten Körper zu-

gekehrten Enden der Leiter die der seinigen entgegengesetzte Elektricität haben, ebenso zeigen die dem magnetischen Pole zugewendeten Enden der Eisenstücke die dem magnetischen Pole ungleichnamige Polarität. — Wie die Vertheilungselektricität der Leiter vollständig verschwindet, wenn man den elektrisirten Körper entfernt, ebenso verschwindet der Magnetismus der Eisenstücke, wenn man den Magnet entfernt, unter dessen Einflusse sie zu Magneten geworden sind. — Es findet jedoch zwischen der Wirkung eines Magnetpoles und jener eines elektrisirten Körpers wieder ein wesentlicher Unterschied statt. Durch Berührung des elektrisirten Körpers mit einem isolirten Leiter wird nämlich dem ersteren mehr oder weniger Elektricität entzogen. — Ganz anders verhält sich aber der Magnet bei der Berührung mit dem weichen Eisen. Denn man kann mit einem Magnete so viel Eisenstücke als man will magnetisiren, ohne daß er etwas von seiner magnetischen Kraft verlöre; es geht demnach bei der Berührung des Magnets mit einem Stück Eisen nichts vom ersteren auf letzteres über.

Das weiche Eisen wird nicht blos unter dem Einflusse des Stabmagnetismus, sondern auch unter dem des Erdmagnetismus zu einem Magnet. Man bringe eine Stange von weichem Eisen in dem magnetischen Meridian in die Lage, welche die Inclination der Magnetnadel angibt. Die Stange zeigt sofort magnetische Polarität, und zwar enthält das gegen Norden gekehrte Ende den Nordpol, das entgegengesetzte den Südpol. — Daß die Polarität keine fortdauernde Eigenschaft der Eisenstange selbst ist, geht daraus hervor, daß die Pole ihre Lage beibehalten, wenn man die Stange umkehrt. — Wenn die Stange eine auf dem magnetischen Meridiane senkrechte Richtung erhält, ist sie ganz ohne magnetische Polarität, welche sie in jeder anderen Lage in einem desto größeren Grade besitzt, je mehr sich ihre Richtung jener der Inclinationsnadel nähert, zum Beweise, daß die Magnetisirung der Eisenstange von den Wirkungen der magnetischen Pole der Erde herrührt. — Hieraus läßt sich der Magnetismus erklären, welchen man an eisernen Geräthschaften, wie Zangen, Schaufeln, Meißeln, Nägeln u. s. w. beobachtet. Zugleich hat die Erfahrung gelehrt, daß durch mechanische Behandlung, wie Schlagen, Feilen, Drehen u. s. w. die Empfänglichkeit des Eisens für den Magnetismus unter dem Einflusse der Erde noch erhöht wird.

Stahlfeile folgt ebenfalls der magnetischen Anziehung, allein in schwächerem Grade als Eisenfeile. Dagegen bleibt ein kleines gehärtetes Stahlstück am Magnetpole nicht hängen, weßhalb man nicht mit Stahl eine magnetische Kette wie mit weichem Eisen bilden kann. — Läßt man aber das Stahlstück längere Zeit mit dem Magnet in Berührung, so wird es magnetisch und verliert seinen Magnetismus nicht mehr, wenn es auch nicht unter dem Einflusse des Magnetpols steht. — Noch schneller

wird das Stahlstück magnetisch, wenn man es seiner ganzen Länge nach in derselben Richtung mit dem Magnetpole wiederholt streicht. Wenn man in ähnlicher Weise mit mehreren kleinen Stahlstücken verfährt, so kann man mit denselben eine magnetische Kette wie mit Eisenstücken bilden. — Zwischen weichem Eisen und gehärtetem Stahl findet demnach hinsichtlich ihres Verhaltens zu einem Magnet ein bemerkenswerther Unterschied statt. Weiches Eisen wird unter dem Einflusse eines Magnetpoles augenblicklich magnetisch, verliert aber seinen Magnetismus augenblicklich wieder, wenn es jenem Einflusse entzogen wird. Gehärteter Stahl dagegen nimmt den Magnetismus langsam an, bewahrt denselben aber auf die Dauer, wenn er auch nicht mehr unter dem Einflusse des Magnetpols steht.

Die Thatsache, daß Eisen und Stahl durch bloße Einwirkung eines Magnetpols aus dem unmagnetischen Zustande in den magnetischen übergehen, ohne daß der Magnetpol etwas von seiner Kraft verliert, weisen darauf hin, daß der objective Grund des Magnetischwerdens den Körpern nicht von außen zugekommen, sondern in ihnen selbst schon enthalten ist. — Die Entwickelung der magnetischen Polarisation geht in jenen Körpern unter Einwirkung eines Magnets mehr oder weniger schnell von statten; leicht bei dem weichen Eisen, minder leicht bei dem gehärteten Stahl. — Man schreibt daher diesen Körpern eine verschiedene Coërcitivkraft zu, worunter man den Widerstand versteht, welchen sie der Entwickelung der magnetischen Polarität entgegensetzen; die Coërcitivkraft ist beim weichen Eisen eine geringe, beim Stahl eine größere. — Mit dem Worte Coërcitivkraft bezeichnet man zugleich den Widerstand, welcher die Rückkehr in den unmagnetischen Zustand hindert und so den Magnetismus im Stahl erhält, wenn er einmal eingetreten ist.

Die Coërcitivkraft des Stahls hängt von seiner Härte ab; sie ist desto stärker, je mehr er gehärtet ist. Außer durch Härtung wird die Coërcitivkraft des Stahles noch durch die Menge der ihm beigemischten Kohle bedingt. — Die Coërcitivkraft des Eisens wird vermehrt, wenn man es biegt, dreht, feilt oder sonst mechanisch verändert. Dasselbe ereignet sich, wenn man Eisen mit einer kleinen Quantität Kohle vermengt. Außer Eisen und Stahl können Nickel, Kobalt und mehrere deren Verbindungen, wenn auch in weit geringerem Grade, in den magnetischen Zustand versetzt werden. — Körper, welche sich nicht magnetisch machen lassen, besitzen eine solche beträchtliche Coërcitivkraft, daß die uns zu Gebote stehenden Mittel nicht zureichend sind, diese Kraft zu überwältigen.

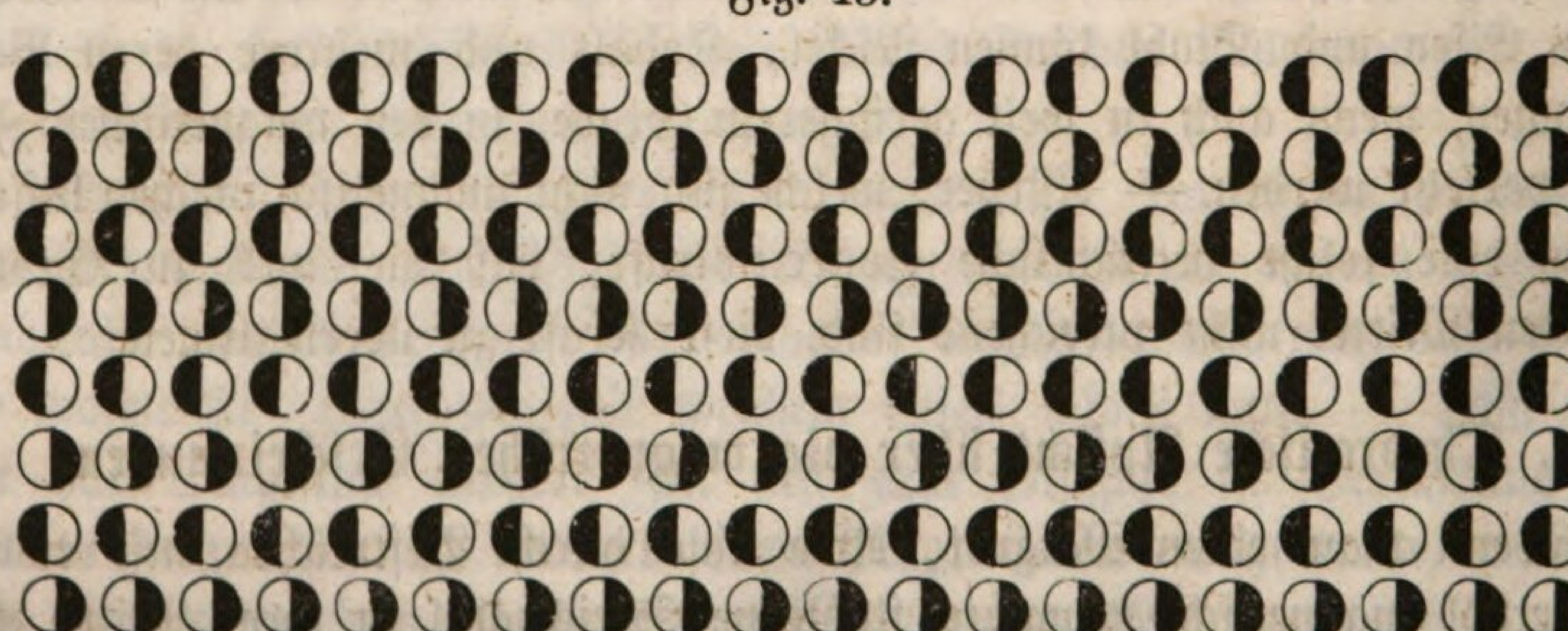
## 3. Theoretische Ansicht über die magnetischen Erscheinungen.

Wenn man einen Magnet, etwa eine durch Bestreichen mit einem Magnetpol magnetisch gemachte stählerne Stricknadel in ihrer Mitte zer-

bricht, so erweist sich jedes Stück als ein vollständiger Magnet. Zerbricht man diese Hälften wieder, so zeigt sich die nämliche Erscheinung. Kurz wie weit man auch das Zerbrechen fortsetzen mag, jedes kleine Bruchstück bewährt sich als ein vollständiger Magnet. — Diese Thatsache berechtigt uns, den Magnet aus einer Menge kleiner Magnete oder magnetischer Elemente bestehend anzunehmen, deren Nordpole sämmtlich nach der Seite zugekehrt sind, welche den Nordpol des Magnets bildet, und deren Südpole auf der entgegengesetzten Seite liegen. Ueber die Größe der magnetischen Elemente vermögen wir nichts Bestimmtes anzugeben; sicherlich sind diese Elemente aber so klein, daß sie sich unserer sinnlichen Wahrnehmung entziehen. Demnach gibt es in jedem magnetischen Element zwei Arten von Magnetismus, welche wir nördlichen und südlichen Magnetismus, oder auch positiven und negativen Magnetismus nennen können, weil sie sich wie entgegengesetzte Größen verhalten. — Die magnetische Kraft der Körper äußert sich nicht immer wie die Schwere, sondern nur erst dann, wenn durch eine magnetisirende Ursache die Theilchen desselben in den polaren Zustand versetzt werden, in Folge dessen in jedem magnetischen Elemente gleiche Quantitäten entgegengesetzter Magnetismen auftreten. — In dem unmagnetischen oder neutralen Zustande binden die den Theilchen anhaftenden entgegengesetzten Magnetismen dergestalt einander, daß sie keine Wirkung nach Außen zeigen können, mithin der Körper im Ganzen die magnetischen Eigenschaften nicht an den Tag geben kann.

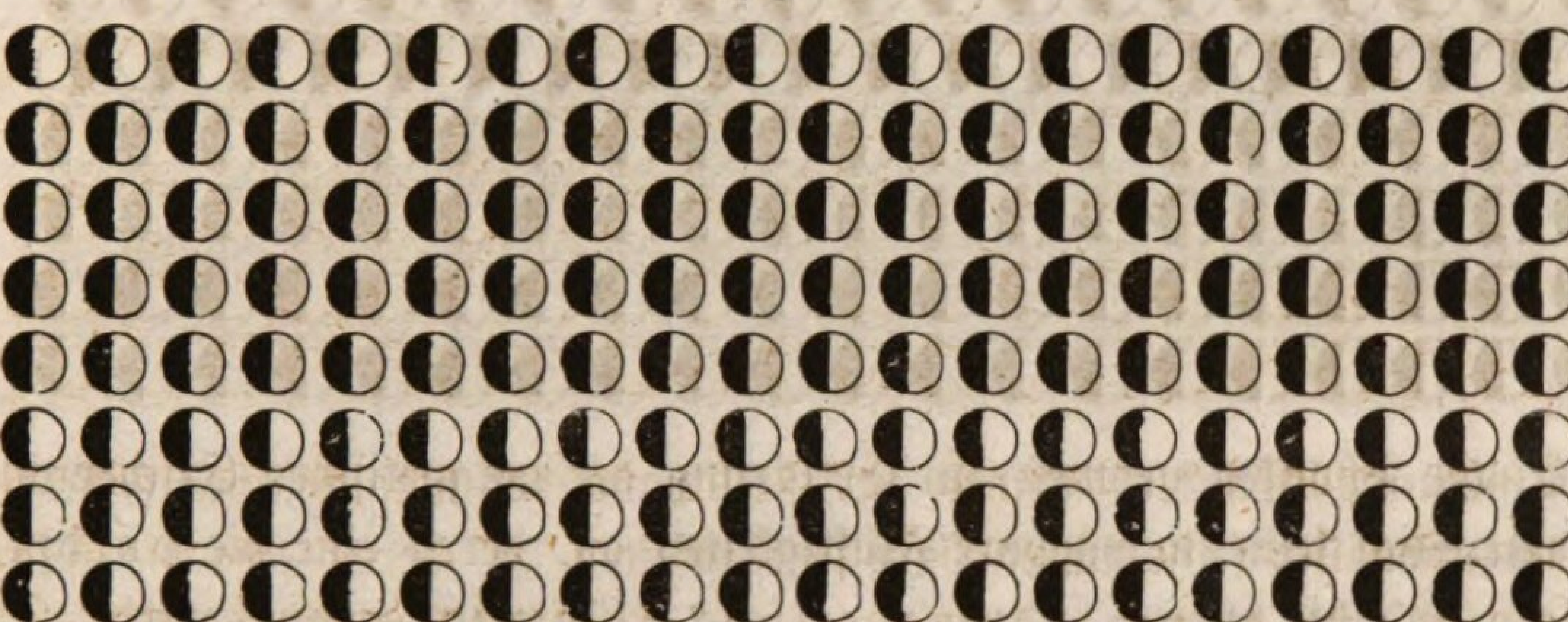
Nach dieser Ansicht würde überhaupt der Magnetismus eines Magnets desto stärker sein, je mehr die magnetischen Elemente die zum Hervortreten der magnetischen Kraft erforderliche Stellung angenommen hätten. Die hier unten stehenden Zeichnungen sollen uns ein Bild geben von den verschiedenen Stellungen, in denen die magnetischen Elemente verschiedene Wirkungen nach Außen zeigen. Zu diesem Behufe sind die magnetischen Elemente durch kleine Kreise dargestellt worden, deren schwarz angelegte Hälfte den Nordmagnetismus und weiß angelegte Hälfte den Südmagnetismus repräsentirt. — Figur 15 stellt uns eine Anordnung der magne-

Fig. 15.



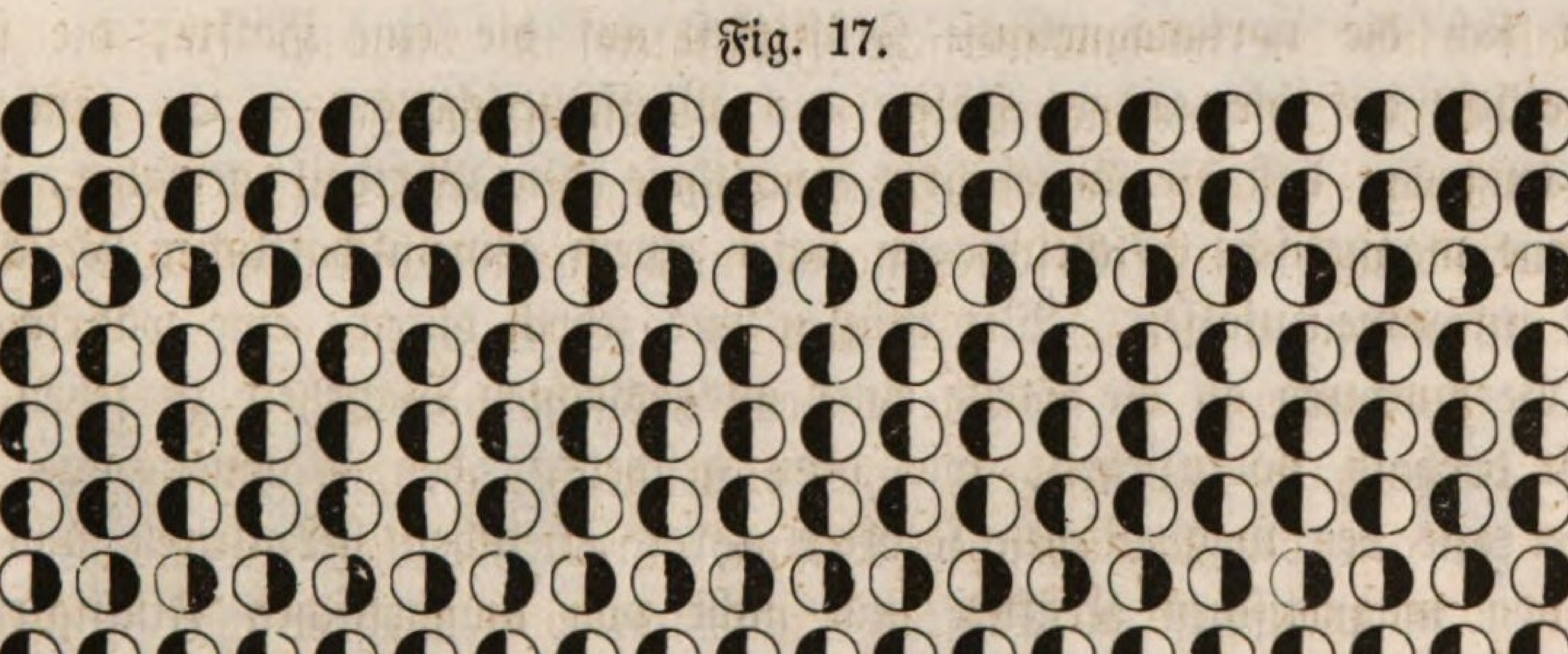
tischen Elemente dar, bei welcher keine magnetische Kraft nach Außen bemerklich ist; eine derartige Anordnung entspricht mithin dem unmagnetischen Zustande des Stahlmagnets. Die magnetische Wirkung der obersten Horizontalreihe von magnetischen Elementen des Magnets, welche ihren Nordpol auf der linken und ihren Südpol auf der rechten Seite haben, wird nämlich aufgehoben durch die magnetische Wirkung der zweiten Horizontalreihe von magnetischen Elementen, bei denen die Südpole auf der linken und die Nordpole auf der rechten Seite liegen. Ein ähnlicher Vorgang findet bei der dritten und vierten Horizontalreihe von magnetischen Elementen statt. — Figur 16 macht die Anordnung anschaulich, in welcher

Fig. 16.



die gleichnamigen Pole sämmtlicher magnetischen Elemente des Magnetstabes nach einerlei Seite hingekehrt sind. In diesem Falle wird der Stab das Maximum des Magnetismus erreicht haben, dessen er überhaupt fähig ist. Aus einer derartigen Anordnung wird es auch begreiflich, wie es kommt, daß die Stücke, welche man bei dem Zerbrechen des Magnets erhält, als vollständige Magnete erscheinen. — Figur 17 gewährt uns das Bild der Anordnung der Molecularmagnete, in welcher

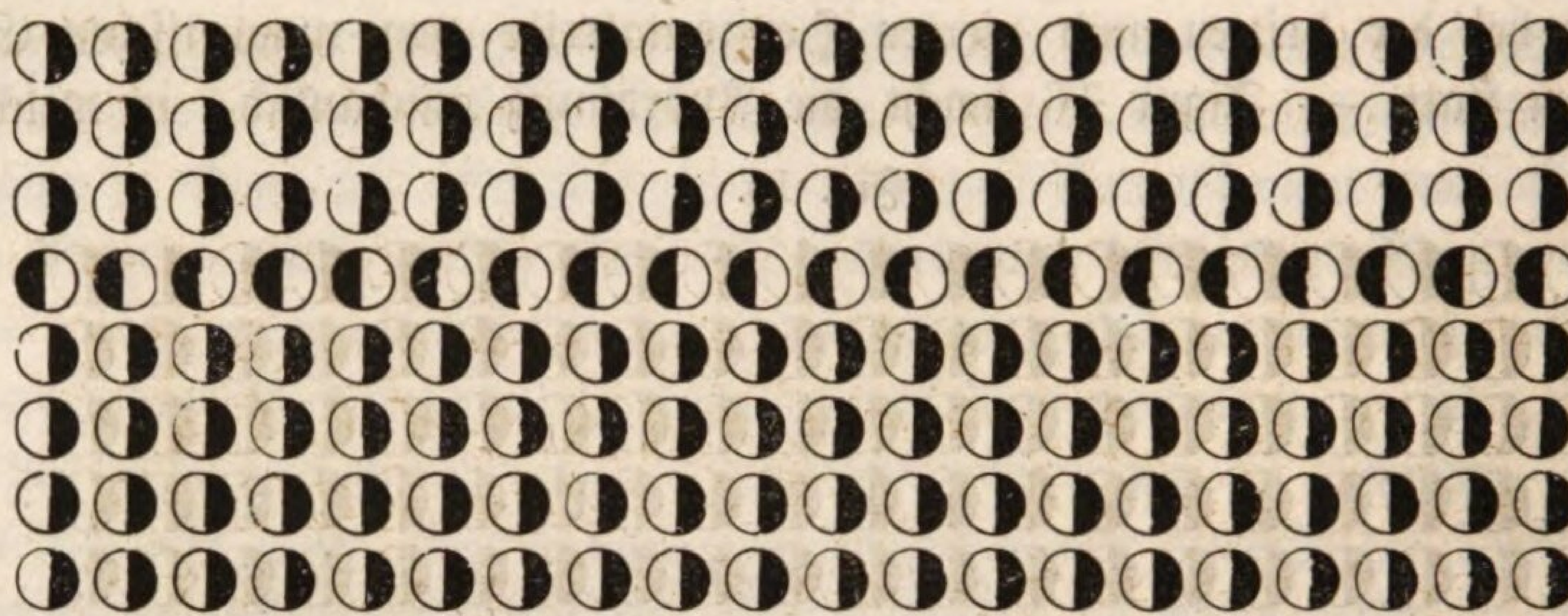
Fig. 17.



der Magnetstab nur die Hälfte der magnetischen Kraft zu erkennen gibt, deren er überhaupt fähig ist. Die erste und zweite Horizontalreihe von magnetischen Elementen sind dergestalt gelagert, daß eine magnetische Wirkung im Ganzen nach Außen hervortreten kann. Anders verhält es sich

mit der dritten und vierten Horizontalreihe von magnetischen Elementen, deren Wirkungen nach Außen sich gegenseitig aufheben. Es wird keine Schwierigkeit haben, sich noch anderweitige Zeichnungen über Anordnungen von Molecularmagneten zu entwerfen, indem sie theilweise sich gegenseitig unterstützend, theilweise sich gegenseitig aufhebend die magnetischen Eigenschaften eines magnetisirten Körpers mehr oder weniger deutlich vor Augen legen. (Figur 18.)

Fig. 18.



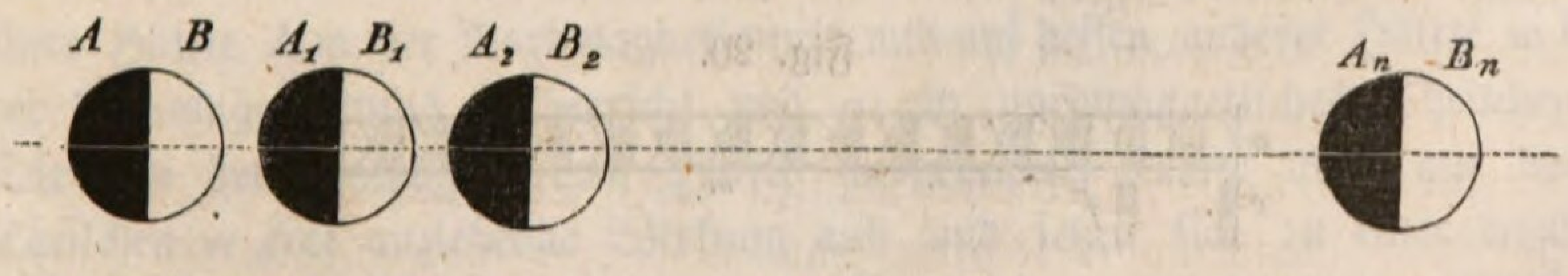
Einige Physiker nehmen zur Erklärung der magnetischen Erscheinungen zwei unendlich feine unwägbare Flüssigkeiten an, deren eine die nordmagnetische und die andere südmagnetische Flüssigkeit genannt wird. Diese Flüssigkeiten sind derart beschaffen, daß die gleichnamigen sich abstoßen, die ungleichnamigen sich anziehen. — Beide magnetische Flüssigkeiten sind an die Theilchen der Körper dergestalt gebunden, daß sie nur innerhalb sehr kleiner Räume sich bewegen können. Kommen beide Fluida in jedem Massetheilchen gleichförmig vor, so erscheint der Körper im unmagnetischen oder neutralen Zustande, dagegen ist der Körper magnetisch, wenn die beiden Flüssigkeiten von einander gesondert werden. Bei dieser Trennung begibt sich die nordmagnetische Flüssigkeit auf die eine Hälfte, die südmagnetische auf die andere Hälfte des Massetheilchens. — Es läßt sich nicht leugnen, daß die angeführte Hypothese den Vortheil gewährt, verschiedene magnetische Erscheinungen unter einem gemeinschaftlichen Gesichtspunkt zusammenzufassen. Wir müssen uns jedoch hüten, eine wahrscheinliche Vermuthung an die Stelle einer ausgemachten Wahrheit zu setzen. — Es ist deßhalb vorzuziehen, wie oben geschehen, den Magnetismus der Körper aus den magnetischen Kräften ihrer Theilchen herzuleiten und so nur von magnetischen Kräften und nicht von magnetischen Flüssigkeiten zu sprechen.

Daß in den kleinen Körpertheilchen der ursprüngliche Sitz der magnetischen Kräfte zu sehen ist und nur bei einer oder der andern Gruppirung der discreten Körpertheile jene Kräfte ihr Vorhandensein durch äußere Zeichen zu erkennen zu geben im Stande sind und so der Körper im

Ganzen als Magnet auftreten kann, dafür lassen sich verschiedene in der Wirklichkeit vorkommende Vorgänge als Belege anführen. Eisen-, Nickel-, Kobaltstücke können durch mechanische Mittel, wie Drehen, Strecken, bleibend magnetisch gemacht werden. In den ponderabelen Molecülen jener Substanzen müssen mithin die magnetischen Kräfte gewissermaßen sich vorfinden, welche erst bei einer oder der andern durch die mechanische Behandlung zu Stande gebrachten Lage der Molecüle mehr oder weniger nach Außen wirken können. — Ganz zu denselben Schlußfolgerungen gelangen wir, wenn wir die chemischen Verbindungen der magnetischen Substanzen mit nicht magnetischen in Erwägung ziehen. Einige dieser Verbindungen sind magnetisch, während andere es nicht sind; zu den ersteren gehören Stahl, eine Zusammensetzung von Eisen und Kohle, und schwefelsaures Nickeloxyd; zu den letzteren Schwefeleisen und Eisenoxyd. — Es läßt sich erwarten, daß alles, was die Lage und Entfernung der Körpertheile bewirkt, auch einen Einfluß auf ihre magnetischen Eigenschaften haben werde. Einen solchen verändernden Einfluß zeigt uns die Wärme. Denn Stahl und Nickel verlieren bei hohen Wärmegraden ihren Magnetismus, der bei Temperaturerniedrigung um so merklicher wieder zum Vorschein kommt, je näher die Richtung, in welcher sich jene Stoffe beim Erkalten befinden, dem magnetischen Meridian liegt. — Die Operation des Härtens des Stahls gehört ebenfalls hierher. Durch das schnelle Abkühlen des glühenden Stahls erleidet derselbe bedeutende Veränderungen in seinen physischen Eigenschaften; er wird härter, elastischer, spröder und zwar dies Alles in desto höherem Grade, je schneller die Abkühlung war. Es läßt sich vermuthen, daß dergleichen Veränderungen ihren Einfluß auf die magnetischen Eigenschaften äußern würden, wie denn auch es wirklich der Fall ist.

Wir wollen nun zu einigen theoretischen Betrachtungen übergehen, um darzuthun, wie eine und die andere magnetische Erscheinung der oben mitgetheilten Ansicht gemäß erklärt werden kann. — Es stelle Figur 19

Fig. 19.



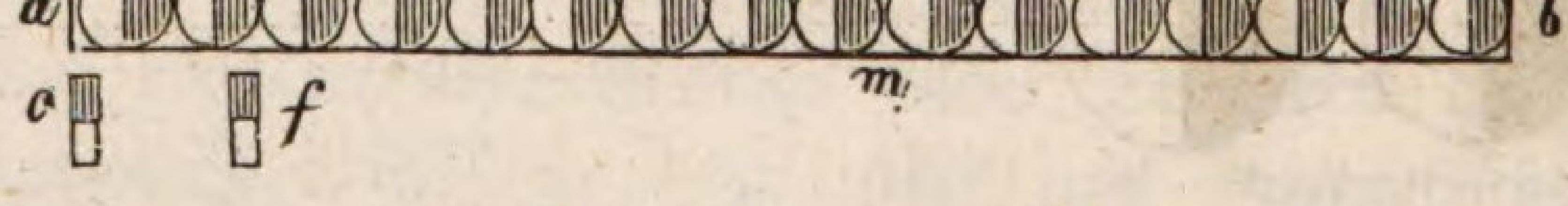

eine Reihe magnetischer Elemente dar, welche einen Magnetstab bilden und ihre gleichnamigen Pole nach derselben Seite hin zugekehrt haben. Auf das erste Element A B wirken alle übrigen n Elemente, jedoch mit immer geringerer Stärke, je weiter sie von jenem Elemente abstehen. Unter diesem Einfluß, zu welchem sich noch die Coërcitivkraft gesellt, geschieht es

denn, daß der in B herrschende Südmagnetismus gewissermaßen gebunden ist, wodurch ein stärkeres Auftreten des in A vorhandenen Nordmagnetismus möglich wird. — Bei dem zweiten Elemente $A_1 B_1$ heben sich die entgegengesetzten gleichmäßig intensiven magnetischen Einwirkungen des ersten und zweiten Elementes auf, so daß gedachtes zweites Element nur noch unter dem Einflusse der übrigen n — 2 Elemente steht. Gedachter Einfluß ist offenbar schwächer als derjenige, welchen das erste Element von den anderen n Elementen erfährt; der in $B_1$ vorwaltende Südmagnetismus ist demnach weniger gebunden als der in B vorfindliche, was bewirkt, daß der in $A_1$ sitzende Nordmagnetismus sich in minderem Grade geltend machen kann als der in A vorhandene gleichnamige Magnetismus. — Auf diese Weise läßt sich erklären, woher es kommt, daß bei den auf der einen Hälfte liegenden Magnettheilchen der Nordmagnetismus und bei den auf der andern Hälfte befindlichen Theilchen der Südmagnetismus vorherrscht. In der ersten Hälfte ist nämlich der Südmagnetismus und in der zweiten Hälfte der Nordmagnetismus durch den Einfluß der magnetischen Elemente gebunden, und zwar dies bei jedem Elemente desto stärker, je weiter es von der Mitte abliegt, in welcher die magnetische Polarität in den unmagnetischen Zustand übergeht.

Es läßt sich nun auch einsehen, was erfolgt, wenn man einen Magnetstab zerbricht. In jedem Stücke wirken nämlich die Pole der Magnettheile an der Bruchfläche mit ihrer ganzen Stärke, während sie sich vor der Trennung theilweise in einem gebundenen Zustande befanden. Die magnetischen Einflüsse der einzelnen Theile können so an jedem Stücke stärker hervortreten, was bewirkt, daß der Nordmagnetismus an dem einen Stücke einerseits und der Südmagnetismus an dem zweiten Stücke andererseits weniger vorherrschend wird, als es vor der Trennung der Fall gewesen. Auf diese Weise geschieht es denn, daß jedes Stück einen neuen Magnet mit zwei Polen bildet, die jedoch nothwendig schwächer sind als die des ganzen Magnetstabes.

Von diesen Principien ausgehend können wir leicht den Einfluß erklären, welchen ein Magnetstab a b (Fig. 20) auf einen dem Nordpole a

Fig. 20.

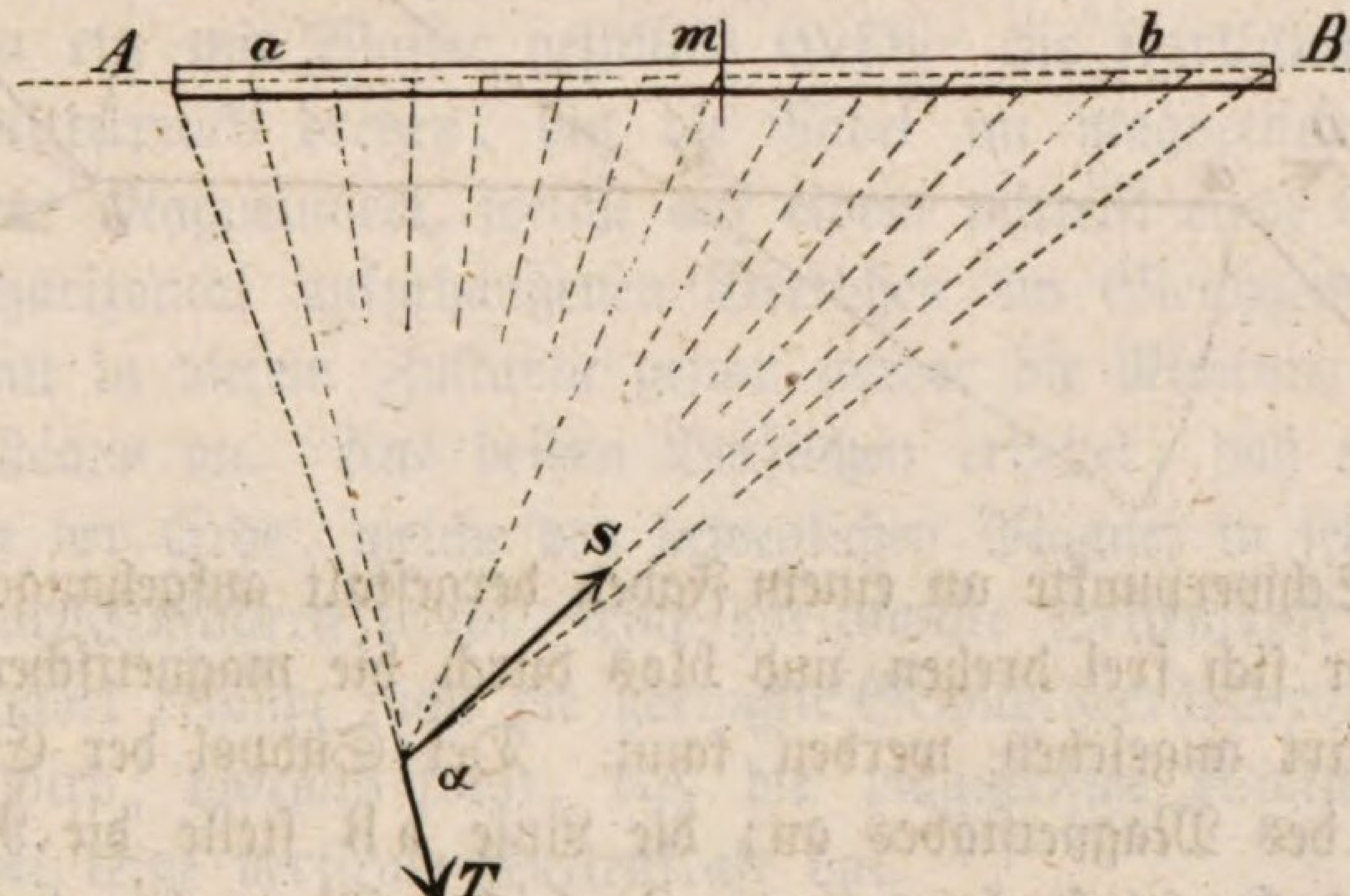



genäherten Stab von weichem Eisen e ausübt. Durch magnetische Vertheilung erhält das dem Nordpole a gegenüberstehende Ende von e Südmagnetismus, welcher noch stärker sein würde, wenn nicht der Südpol des ersten magnetischen Elementes es verhinderte. In ähnlicher Weise wirken die folgenden magnetischen Theile, aber mit abnehmender Stärke wegen

der größeren Entfernung. — Bringt man den Eisenstab zwischen das zweite und dritte Magnettheilchen, so heben die Wirkungen der Theilchen 2 und 3 einander auf, was auch mit denen von den Theilchen 1 und 4 ausgehenden Einwirkungen der Fall ist. Es bleibt demnach nur die anziehende Wirkung der Theilchen 5, 6, ... übrig, die aber viel geringer als die Wirkung ist, welche das Eisenstäbchen in der ersten Lage erfuhr. — In der Mitte m des Stabes heben sich die magnetischen Einflüsse der einzelnen Theilchen gegenseitig auf, weßhalb daselbst sich keine magnetische Polarität an dem Eisenstab entwickeln kann. Hiernach wäre das stärkere Hervortreten der Polarität an den Enden des Magnetstabes nur die größere resultirende Wirkung der von den einzelnen Theilchen desselben ausgehenden magnetischen Einflüssen auf einen außerhalb des Magnets befindlichen magnetischen Körper.

Der aufgestellten Ansicht gemäß sind die Pole eines Magnets in Bezug auf ein außerhalb desselben liegendes magnetisches Theilchen nur als Orte zu betrachten, nach welchen dieses Theilchen vermöge der resultirenden Kraft der aus den magnetischen Elementen ausgehenden anziehenden und abstoßenden Kräften sich richtet. Um den eben ausgesprochenen Satz in gehöriges Licht zu setzen, sei A B (Fig. 21) ein Magnetstab, auf dessen

Fig. 21.



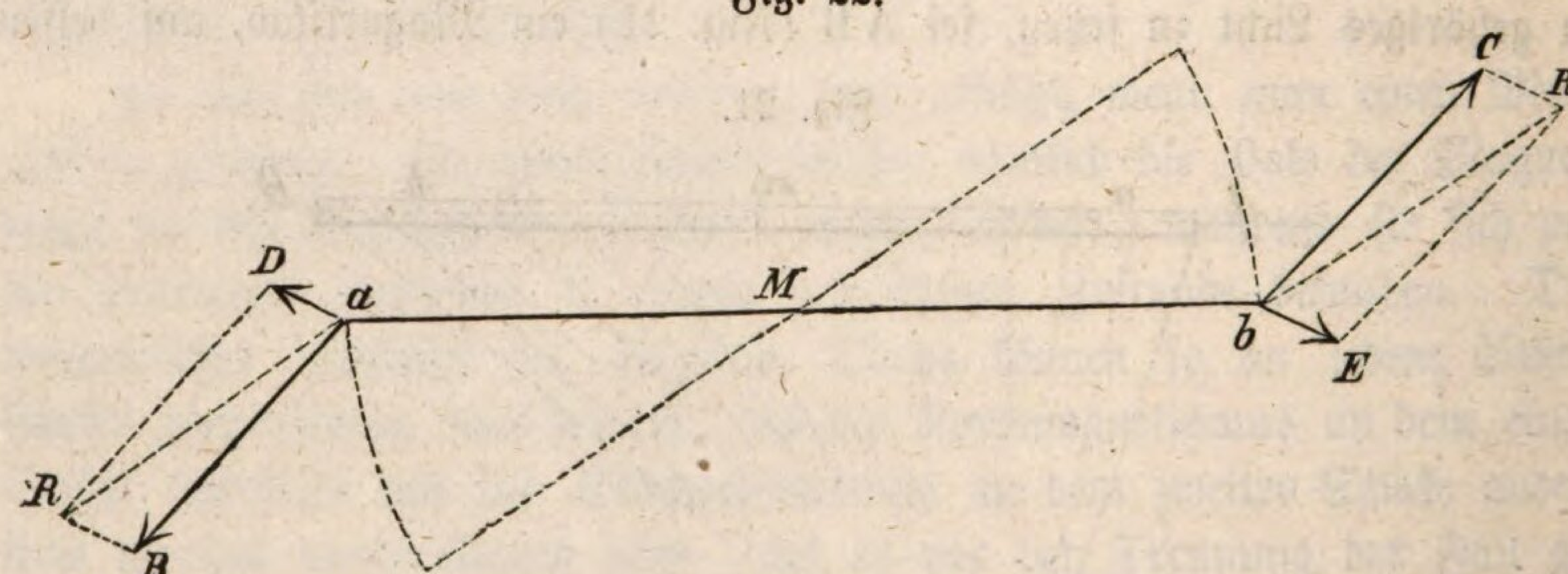

einer Hälfte A m der Nordmagnetismus und auf dessen anderer Hälfte m B der Südmagnetismus vorherrscht und $\alpha$ ein nordmagnetisches Theilchen. Die von der südmagnetischen Hälfte ausgehenden Kräfte üben auf das Theilchen $\alpha$ eine anziehende Wirkung aus und setzen sich zu einer resultirenden Kraft $\alpha$ S zusammen, während die von der nordmagnetischen Hälfte herrührenden Kräfte auf das Theilchen $\alpha$ eine Abstoßung äußern und die resultirende Kraft $\alpha$ T liefern. — Die Punkte a und b, welche als die Pole des Magnets A B bezüglich des magnetischen Theilchens $\alpha$ gelten können, sind demnach keine fixen Punkte, sondern ändern sich mit der Lage

des magnetischen Theilchens $\alpha$. Nur in dem Falle, in welchem das Theilchen in sehr großer Entfernung von den Magneten liegt, wird der Pol als ein fixer Punkt betrachtet werden können. — Ebenso lassen sich die gegenseitigen Einwirkungen zweier Magnetstäbe aufeinander durch die von vier Polen ausgehenden Anziehungen und Abstoßungen darstellen, deren Intensitäten und Richtungen sich mit der Lage und der Entfernung der Magnete zu einander ändern. Die Pole eines Magnets in Bezug zu den magnetischen Erdkräften sind gewissermaßen das, was der Schwerpunkt in Bezug zur Schwerkraft ist.

## 4. Richtende Kraft der Erde.

Da die Erde sich wie ein Magnet verhält, so können die gegenseitigen magnetischen Einwirkungen zwischen der Erde und einem außerhalb derselben befindlichen Magnetstabe durch die von vier Polen ausgehenden Anziehungen und Abstoßungen dargestellt werden. Wir wollen nun sehen, zu welchen Folgerungen diese Ansicht führt und in wie weit solche durch die Erfahrung ihre Bestätigung finden. — Es sei deßhalb a b (Fig. 22) ein

Fig. 22.




in seinem Schwerpunkte an einem Faden dergestalt aufgehangener Magnetstab, daß er sich frei drehen und blos durch die magnetischen Kräfte der Erde sollicitirt angesehen werden kann. Der Südpol der Erde zieht den Nordpol a des Magnetstabes an; die Linie a B stelle die Richtung und Größe dieses Kraftbestrebens dar. Zugleich erfährt aber der Pol a von Seiten des Nordpols der Erde eine Abstoßung, deren Richtung und Größe durch die Linie a D vorgestellt sein mag. Weil der nördlichen Hemisphäre der Südpol der Erde näher liegt als deren Nordpol, so ist die anziehende Wirkung größer als die abstoßende, mithin die Linie a D kleiner als die Linie a B, obschon wir das genaue Verhältniß beider Linien jetzt noch nicht kennen. Der Nordpol a des Magnetstabes wird folglich unter dem Einfluß des Erdmagnetismus von zwei Kräften sollicitirt, welche der Richtung und Länge nach durch die Linien a B, a D dargestellt werden und für welche wir deren Mittelkraft substituiren können, deren Richtung und

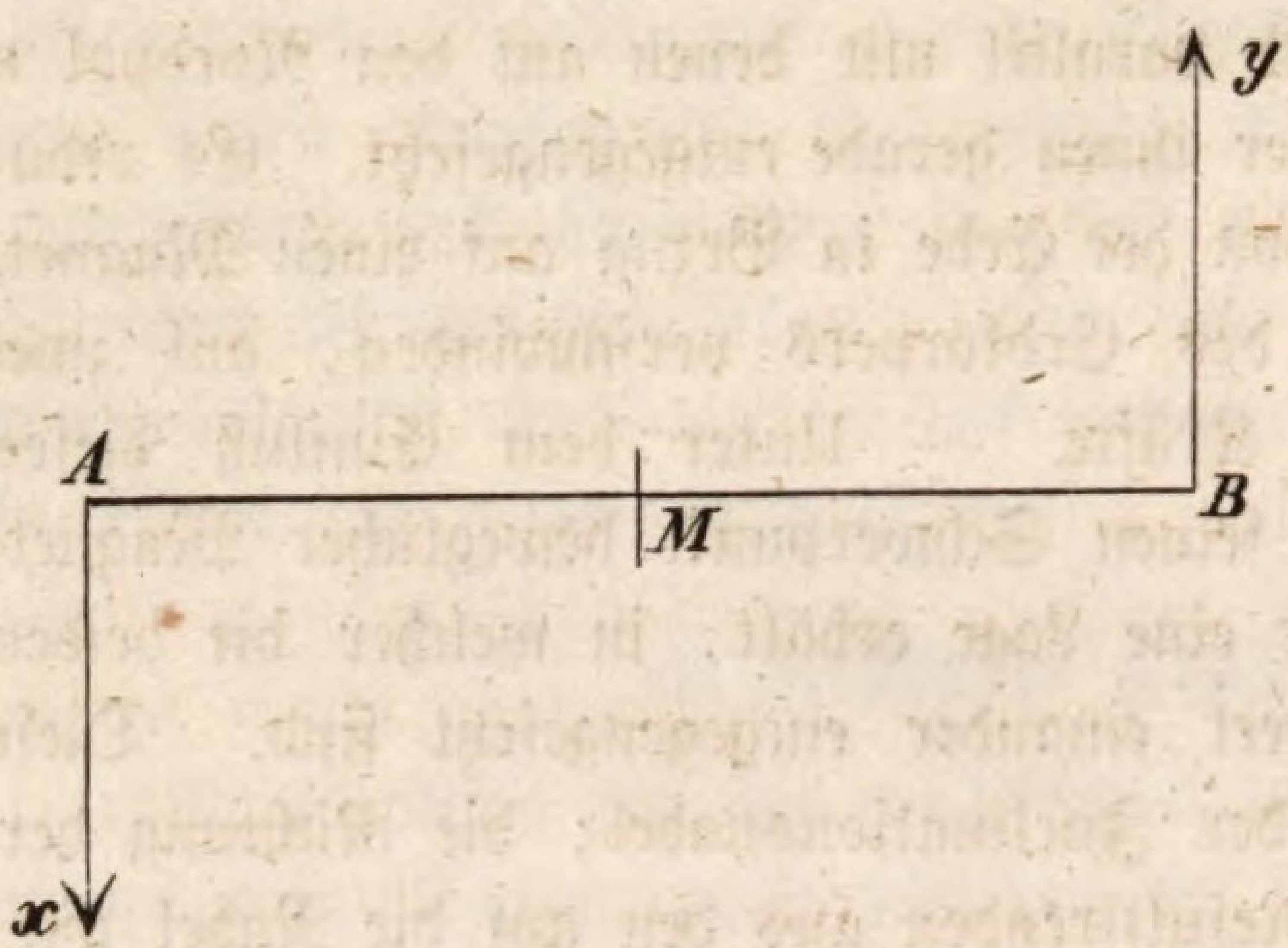
Größe die Linie aR angibt. — Da die Dimensionen des Magnetstabes im Vergleich zu seinen Entfernungen von den magnetischen Erdpolen verschwindend klein sind, so sind die auf den Südpol b einwirkenden magnetischen Kräfte der Erde gleich und parallel mit denen auf den Nordpol a einwirkenden, in der Richtung aber ihnen gerade entgegengesetzt. Es reducirt sich also die magnetische Action der Erde in Bezug auf einen Magnet, dessen Dimensionen gegen jene des Erdkörpers verschwinden, auf zwei gleiche parallele entgegengesetzte Kräfte. — Unter dem Einfluß dieses Kräftepaares wird also ein um seinen Schwerpunkt beweglicher Magnetstab sich so lange drehen, bis er eine Lage erhält, in welcher die beiden Kräfte des Erdmagnetismus direct einander entgegengesetzt sind. Diese Gleichgewichtslage haben wir in der Inclinationsnadel; die Richtung der letzteren fällt daher mit der der Resultirenden aus den auf die Nadel wirkenden magnetischen Kräften der Erde zusammen.

Die magnetische Kraft der Erde für sich allein genommen vermag daher nicht dem Magnete irgend eine fortrückende Bewegung zu ertheilen; ihre Wirkung beschränkt sich blos darauf, den Magnet in eine bestimmte Gleichgewichtslage zu bringen, falls er dieselbe noch nicht angenommen hat. Die Uebereinstimmung jener Folgerungen mit der Erfahrung zeigen nachstehende Versuche: Man lege eine Magnetnadel auf eine Korkscheibe und setze diese in ein mit Wasser gefülltes Gefäß; die Korkscheibe wird sich um ihren Mittelpunkt drehen, bis die Nadel im magnetischen Meridian liegt. — Eine Magnetnadel, welche auf einem mittelst eines Seidenfadens auf einem horizontal aufgehangenen Brettchen im Gleichgewicht sich befindet, nimmt in diesem Zustande genau wieder die Richtung des magnetischen Meridians an. Aus beiden Versuchen erhellet, daß aus der richtenden Kraft der Erde, welche den beweglichen Magnet in seine Gleichgewichtslage zurückzuführen strebt, keine horizontale Seitenkraft entsteht. — Eine Stahlnadel erfährt nicht die geringste Gewichtsveränderung, wenn sie magnetisirt wird; woraus folgt, daß die magnetische Wirkung der Erde auf die Nadel keine verticale Seitenkraft hat.

Die Stärke der Einwirkung des Erdmagnetismus auf einen in seinem Schwerpunkt aufgehangenen Magnetstab hängt ab von der Intensität der magnetischen Erdkräfte sowohl, wie von der Größe der in dem Magnet vorhandenen magnetischen Kräfte. — Um eine klare Einsicht in den Erfolg der in Frage stehenden Wirkungen zu erhalten, sei A (Fig. 23) der Angriffspunkt, Ax die Richtung und P die Größe sämmtlicher in einerlei Sinn auf den Magnet einwirkenden magnetischen Erdkräfte, B der Angriffspunkt und By die Richtung der gleich großen Resultirenden der in entgegengesetztem Sinne thätigen magnetischen Kräfte; ferner $+m$ die Größe des in A enthaltenen nördlichen und $-m$ des in B vorhandenen

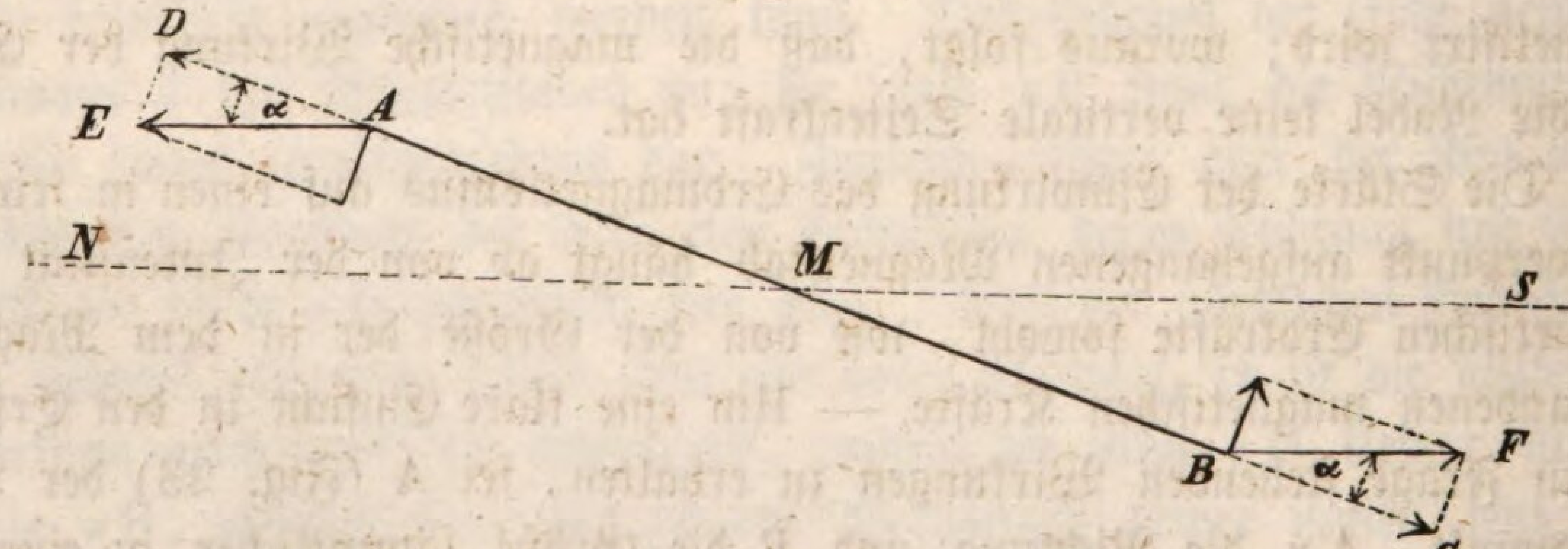
südlichen Magnetismus, wobei die Kraft als Einheit gilt, welche einen mit gleichem Magnetismus begabten Punkt in der Entfernung 1 in der Zeiteinheit die Geschwindigkeit 1 ertheilt. Hiernach wären P m und — P m die Kräfte, durch welche der Magnetstab gedreht wird, wobei noch die Lage ihrer Angriffspunkte A und B zu berücksichtigen ist. Liegen dieselben auf beiden Seiten der Drehachse, so streben jene Kräfte den Stab in einerlei Sinn zu drehen. Die Kraftbestrebungen zur Drehung werden auf beiden Seiten gleich, wenn die Angriffspunkte A, B gleichweit entfernt sind, was wir hier annehmen wollen. — Der Erfolg ist mithin derselbe, als wenn der Stab durch eine einzige Kraft sollicitirt würde, welche das Doppelte von P m betrüge. Setzen wir A B = δ, so ist das Produkt P m δ das **Drehungsmoment**, welches der Erdmagnetismus auf den Magnet bezüglich einer mit demselben fest verbundenen Drehachse hervorbringen kann. — Das Produkt m δ heißt das **magnetische Moment** des Magnets und erscheint als Drehungsmoment eines Gewichtes m an einem Hebelarme von der Länge δ.

Fig. 23.




Wir denken uns eine Magnetnadel in ihrem Schwerpunkte an einem Seidenfaden aufgehängt und durch ein kleines an ihrem Südpol befestigtes Gegengewicht in horizontale Lage gebracht. Die verticale Componente V der erdmagnetischen Kraft P wird dann durch die Art der Aufhängung der Nadel anullirt und es bleibt nur noch die horizontale Componente H übrig, deren Bestreben dahin geht, die Magnetnadel A B (Fig. 24) in die Ebene

Fig. 24.




N S des magnetischen Meridians zurückzuführen, wenn sie daraus entfernt ist. Um die Größe dieses Kraftbestrebens kennen zu lernen, brauchen wir nur von den Enden E, F der beiden horizontalen richtenden Kräfte A E, B F die Senkrechten E D, F G auf die verlängerte Richtung der Nadel zu

ziehen. Die auf jeder Seite wirkende Kraft wird dann durch diese Senkrechten dargestellt, mithin gleich H m sin $\alpha$ sein, wo $\alpha$ den Winkel bezeichnet, welchen die Nadel mit dem magnetischen Meridian bildet.

Coulomb hat diesen Satz mittelst der magnetischen Drehwage nachgewiesen, welche der elektrischen Wage ganz ähnlich ist. Der Aufhängedraht trägt an seinem unteren Ende eine Hülse von dünnem Kupferblech, in welche die Magnetnadel gelegt wird. Vor Anstellung der Versuche legt man eine Kupfernadel oder sonst ein nicht magnetisches Metall hinein und dreht den ganzen Apparat so lange, bis der Nullpunkt der Gradetheilung der Wage und die Kupfernadel sich genau in der Richtung des magnetischen Meridians befinden, wobei der Aufhängedraht frei von jeder Torsion sein muß. — Hierauf nimmt man die Kupfernadel und legt dafür die Magnetnadel ein. Dreht man nun den eingetheilten Kreis, der sich am oberen Befestigungspunkte des Drahtes befindet, so wird die Nadel von dem magnetischen Meridian abgelenkt. Wenn die Nadel zur Ruhe gekommen ist, hält die Torsion des Fadens der Kraft das Gleichgewicht, welche die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuführen strebt; die Torsion dient daher als Maß für die richtende Kraft des Erdmagnetismus. — Da nun die Torsion des Drahts, so lange er nicht an Elasticität verliert, der Drehung des Winkels proportional ist, um welchen er gedreht wurde; so können wir aus dem Verhältniß der Drehungsbogen auf das Verhältniß der richtenden Kräfte für verschiedene Ablenkungen der Nadel aus dem magnetischen Meridian schließen. Auf diese Weise läßt sich also ermitteln, ob jene richtenden Kräfte wirklich dem Sinus der Ablenkungswinkel proportional sind. — Um den Schwankungen der Nadel schneller Einhalt zu thun, befestigt man an die Hülse von Kupferblech einen Flügel aus demselben Metall und läßt ihn in ein Gefäß mit Wasser tauchen. Der Widerstand des Wassers schwächt die Schwingungen der Nadel, ohne sie zu hindern, zu dem erforderlichen Grade der Ablenkung zu gelangen.

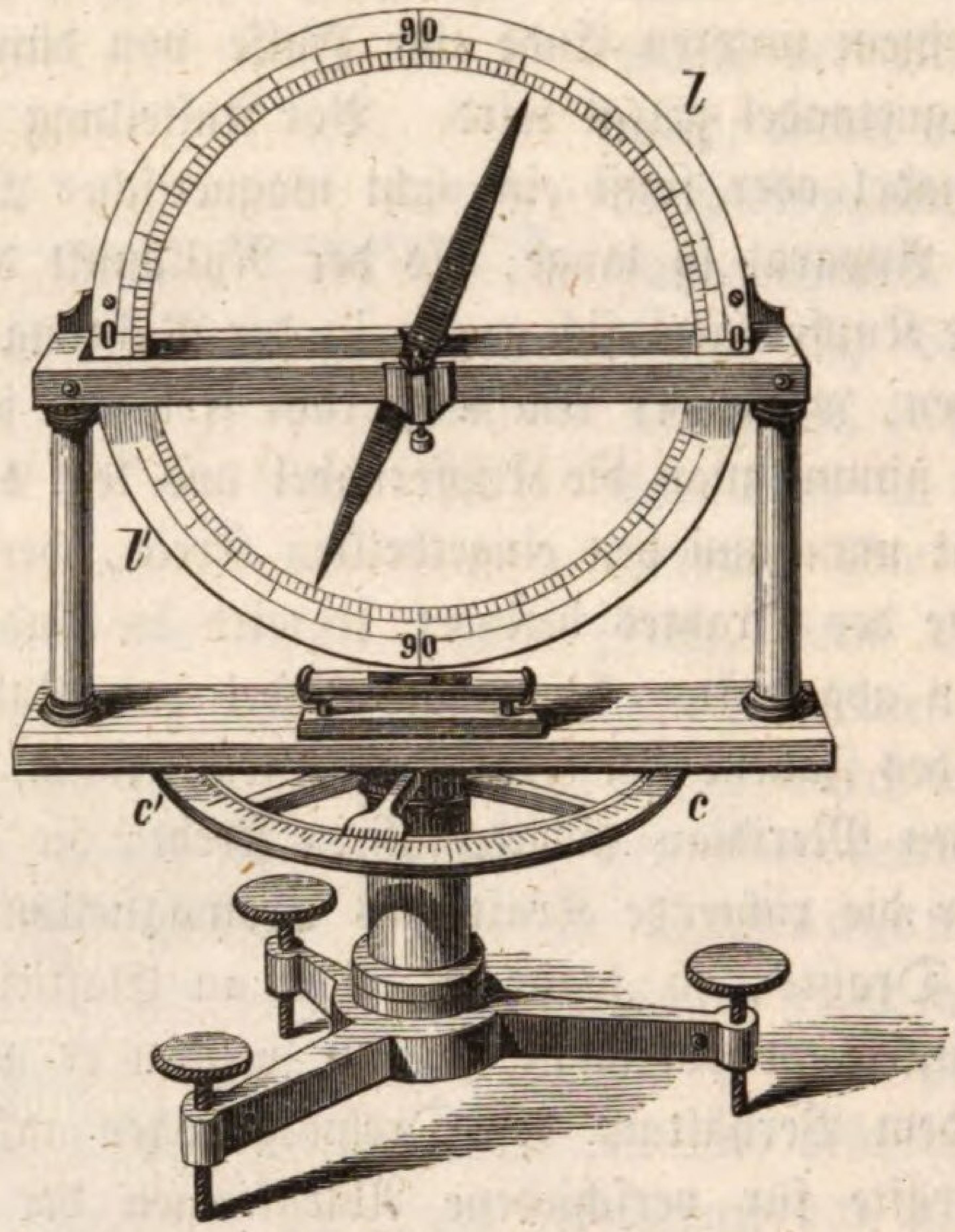
Folgende Resultate wurden von Coulomb an einem Magnetstabe von $6\frac{1}{2}$ Decimeter Länge und 3—4 Millimeter im Durchmesser beobachtet, der an einem Kupferdraht aufgehängt war:

| Anzahl der Drehungen. | Ablenkung der Nadel. | Torsionskraft. |
|---|---|---|
| $0^0$ | $0^0$ | $0^0$ |
| 1 | $10\frac{1}{2}^0$ | $349\frac{1}{2}^0$ |
| 2 | $21\frac{1}{4}^0$ | $698\frac{3}{4}^0$ |
| 3 | $33^0$ | $1047^0$ |
| 4 | $46^0$ | $1394^0$ |
| 5 | $63\frac{1}{2}^0$ | $1736\frac{1}{2}^0$. |

Die horizontalen richtenden Kräfte des Erdmagnetismus wachsen demnach in demselben Verhältnisse wie die Sinus der Ablenkungswinkel.

Wir wollen nun die Wirkungen untersuchen, welche die verticalen Seitenkräfte V hervorbringen können. Mit Hülfe der Inclinationsbussole läßt sich diese Untersuchung bequem anstellen. — Dieser in Figur 25 dar-

Fig. 25.




gestellte Apparat besteht aus einem verticalen getheilten Messingkreis ll′, in dessen Ebene sich die empfindliche Magnetnadel um eine durch ihren Schwerpunkt gehende horizontale Achse bewegt. Der Verticalkreis läßt sich über der Ebene eines zweiten horizontal liegenden getheilten Messingkreises cc′ bewegen, der mit Hülfe dreier Stellschrauben des Fußes und einer Libelle horizontal gestellt werden kann. Der Nullpunkt der Theilung des Verticalkreises liegt am nördlichen Endpunkte seines Horizontaldurchmessers. — Fällt nun die Ebene des Verticalkreises mit der Ebene des magnetischen Meridians zusammen, so gibt die magnetische Achse der Nadel die Richtung der magnetischen Erdkraft an. Der Winkel, welchen das Nordende der Nadel mit der Horizontalebene bildet, ist die magnetische Inclination.

Stellt man den Apparat so, daß die Rotationsachse der Nadel in die Ebene des magnetischen Meridians zu liegen kommt und bringt dann die Nadel in eine verticale Lage, bei welcher der Nordpol nach unten gekehrt ist; so befindet sich die Nadel im Gleichgewichtszustande. Die beiden horizontalen einander gleichen entgegengesetzt und parallel mit der Drehungsachse der Nadel liegenden Seitenkräfte sind nämlich durch die Art der Auf-

hängung der Nadel vollständig aufgehoben. Die beiden gleichen verticalen entgegengesetzten Kräfte vermögen aber der Nadel keine Drehung zu ertheilen, weil ihre Richtung mit der magnetischen Achse der Nadel zusammenfällt. — Bewegt man daher den Verticalkreis so lange, bis die Nadel eine vollkommen verticale Stellung annimmt, dann fällt die Drehungsachse der Inclinationsnadel in die Ebene des magnetischen Meridians und der Verticalkreis steht senkrecht auf dieser Ebene. — Man braucht mithin jenen Kreis nur um 90° zu drehen, um ihn in den magnetischen Meridian zu bringen, d. h. in die Lage, in welcher die Nadel die Inclination angibt.

## II. Gesetze der magnetischen Wirkungen.

### 1. Schwingende Bewegung einer Magnetnadel.

Geht die Drehungsachse durch den Schwerpunkt einer Magnetnadel, so hat die Schwere auf die Bewegung einer solchen Nadel keinen Einfluß; die magnetischen Kräfte der Erde und der Nadel sind es allein, welche diese Bewegung bewirken. — Eine derartige Nadel befindet sich in der Position des stabilen Gleichgewichtes, wenn die Richtung der auf sie einwirkenden gleichen entgegengesetzten Kräfte in der Verlängerung der magnetischen Achse liegt. Wenn die Nadel aus jener Position abgelenkt wird, so geräth sie unter dem Einflusse des Magnetismus in eine schwingende Bewegung, die nach denselben Gesetzen vor sich geht, wie die eines Pendels unter dem Einflusse der Schwere. — Dergleichen Schwingungen der Nadel einmal erregt würden ohne Ende fortdauern, wenn nicht die Reibung und der Widerstand der Luft früher oder später die Nadel zur Ruhe brächten. Die Schwingungsdauer t der Nadel wird durch eine ähnliche Formel ausgedrückt, wie jene eines zusammengesetzten Pendels mit horizontaler Achse.

Für eine **Inclinationsnadel**, worunter man eine Magnetnadel versteht, deren durch den Schwerpunkt gehende Drehungsachse eine *horizontale Lage hat und zugleich senkrecht auf dem magnetischen Meridian steht*, ist die Schwingungsdauer $t = \pi \sqrt{\frac{K}{P \mu \delta}}$. — In vorstehendem Ausdrucke bedeutet K das Trägheitsmoment der Nadel, $\mu \delta$ das magnetische Moment desselben und P die erdmagnetische Kraft. — Bei einer *Declinationsnadel* steht die Drehungsachse vertical und die magnetische Achse horizontal; die horizontale Componente H des Erdmagnetismus strebt die magnetische Achse der Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuführen, wenn sie daraus seitwärts abgelenkt wird. Für die Schwingungsdauer t einer solchen Nadel hat man den Ausdruck: $t = \pi \sqrt{\frac{K}{H \mu \delta}}$, in welchem K und $\mu \delta$ dieselbe Bedeutung wie in der vorhergehenden Formel haben. —

Stellt man die horizontale Drehungsachse in den magnetischen Meridian, damit nur die verticale Componente V des Erdmagnetismus wirksam bleibt, so hat man für die Dauer einer Schwingung der Nadel die Formel: $t = \pi \sqrt{\frac{K}{V \mu \delta}}$.

Eine astatische Magnetnadel besteht aus zwei möglichst gleich stark magnetisirten Nadeln, welche dergestalt parallel miteinander verbunden und an einem Coconfaden aufgehängt sind, daß sie ihre gleichnamigen Pole nach entgegengesetzter Richtung zugekehrt haben. Bei dieser Zusammenstellung kann die Erde keine richtende Kraft auf das Nadelsystem ausüben. — Eine astatische Nadel dient dazu, um geringe Grade von Magnetismus zu entdecken; die geringste magnetische Kraft setzt die Nadel in Bewegung, weil die richtende Kraft der Erde auf die Nadel keine Wirkung äußert, um die Nadel in dem magnetischen Meridian zurückzuhalten. — Man verschafft sich zwei gleich stark magnetische Nadeln, wenn man sie einzeln an Coconfäden aufhängt und so lange mit einem schwachen Magnete streicht, bis sie in einerlei Zeit die nämliche Anzahl von Schwingungen machen. — Eine Magnetnadel, deren durch den Schwerpunkt gehende Achse die Stellung der Inclinationsnadel hat, ist ebenfalls astatisch; weil die erdmagnetischen parallel zur Achse wirkenden Kräfte durch den Widerstand dieser Achse aufgehoben werden.

Man kann eine Magnetnadel auch dadurch astatisch machen, daß man in den magnetischen Meridian der Nadel einen Magnetstab legt und denselben so lange darin hin und her schiebt, bis die Wirkung des Erdmagnetismus compensirt ist. Dies wird der Fall, wenn bei gerade umgekehrter Lage der Nadel, mithin der Nordpol desselben an die Stelle des Südpol getreten ist, die Nadel in Ruhe verharrt. Man sieht ein, wie es bei diesem Verfahren möglich ist, durch Annähern oder Entfernen des Stabes die richtende Kraft der Erde nach Belieben zu verkleinern.

## 2. Magnetische Anziehung und Abstoßung.

Um die Größe der Einwirkung eines Magnetpoles auf einen andern zu ermitteln, hat Coulomb sich einerseits der Methode der Oscillationen und anderseits der Torsionswage bedient. — Bei der Methode der Schwingungen hing er eine kurze Magnetnadel horizontal auf und ließ sie unter dem alleinigen Einfluß der horizontalen Componente H des Erdmagnetismus oscilliren: es sei k die Schwingungszahl der Nadel in einer gegebenen Zeit T. — Hierauf legte er den einen Pol von einem sehr langen Magnetstab horizontal in den magnetischen Meridian in solchem Abstande der Nadel gegenüber, daß dagegen die Dimensionen der Nadel verschwinden. Es läßt sich so annehmen, daß nur der Pol, welcher der

Nadel am nächsten liegt, auf sie einwirke und zwar auf ihre beiden Pole mit gleicher Stärke und in der nämlichen Richtung wie die Erde. Hiernach addirt sich die Action des Magnetstabes gleichsam zu jener der Erde oder es erzeugt sich die Differenz zwischen beiden Kräften, je nachdem die Einwirkungen der Erde und jene des Poles vom Magnetstabe auf die Nadel einander unterstützen oder bekämpfen. Es sei m die Stärke der von dem wirksamen Pole des Magnetstabes ausgehenden horizontalen Anziehung und Abstoßung auf die Pole der Nadel, und angenommen, daß die Kraft m mit der magnetischen Erdkraft übereinstimmend wirke. Die Schwingungen der kleinen Declinationsnadel werden schneller vor sich gehen; es bezeichne n die Anzahl der Schwingungen, welche die Nadel in der gegebenen Zeit T macht, wenn r der Abstand der Nadel vom wirksamen Magnetpole ist. Nach dem, was wir oben angeführt haben, ist:

$$\frac{T}{k} = \pi \sqrt{\frac{K}{H \mu \delta}} \text{ und } \frac{T}{n} = \pi \sqrt{\frac{K}{(H+m)\mu\delta}}.$$

Hieraus entspringt: $\frac{m}{H} = \frac{n^2 - k^2}{k^2}$. — In einem größeren Abstande r′ der Nadel von dem Magnetpole des Stabes vollendet die Nadel in derselben Zeit T eine geringere Anzahl n′ von Schwingungen, weil die Kraft m in die kleinere Kraft m′ übergeht. Man erhält ebenso: $\frac{m'}{H} = \frac{n'^2 - k^2}{k^2}$. Durch die Combination der beiden letzteren Gleichungen ergibt sich: $\frac{m}{m'} = \frac{n^2 - k^2}{n'^2 - k^2}$. Man kann mithin aus den drei beobachteten Schwingungszahlen k, n und n′ das Verhältniß zwischen den Kräften m und m′ berechnen, mit denen derselbe Pol auf die Nadel aus verschiedenen Entfernungen wirkt. — Aus den Versuchen ergab sich $\frac{n^2 - k^2}{n'^2 - k^2} = \frac{r'^2}{r^2}$, folglich $\frac{m}{m'} = \frac{r'^2}{r^2}$: d. h. die Wirkungen von Pol zu Pol sind den Quadraten der Abstände dieser Pole von einander umgekehrt proportional. — Bei einem seiner Versuche fand Coulomb, daß eine Magnetnadel, welche unter dem Einflusse des Erdmagnetismus 15 Schwingungen in der Minute machte, deren 24 vollbrachte, wenn der Magnetstab in der Entfernung von 2,4 Decimeter aufgestellt war, und 41, wenn die Entfernung nur die Hälfte betrug. Der Magnetstab hatte eine Länge von 6½ Decimeter und 3 Millimeter im Durchmesser. — Es ist hier $\frac{m}{m'} = \frac{41^2 - 15^2}{24^2 - 15^2} = \frac{1456}{351} = 4$, während sich die Entfernungen wie 1 zu 2 verhalten.

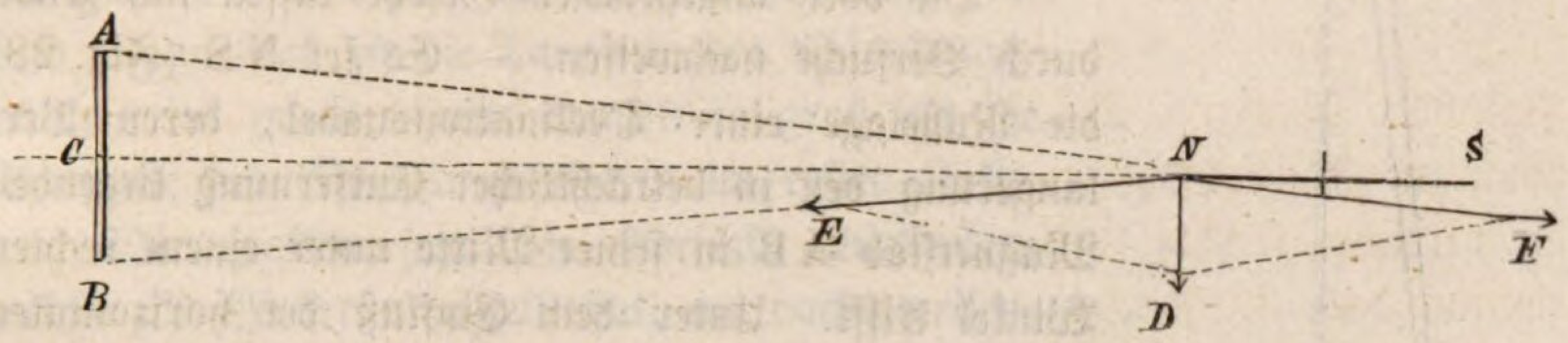
Bei den Versuchen mittelst der Drehwage muß man ebenfalls langer magnetischer Stahlstäbe sich bedienen, damit die Wirkung des einen Pols gegen jene des andern als verschwindend angesehen werden könne. Einen solchen Stab hing Coulomb horizontal in der magnetischen Wage auf und

untersuchte vorläufig, mit welcher Kraft der Stab durch den Erdmagnetismus in den magnetischen Meridian zurückgeführt ward. Zu diesem Behufe wurde der Zeiger des Aufhängedrahtes um 720° gedreht, wobei die Nadel um 20° vorschritt; die Drehung des Drahtes betrug mithin 700°. Daraus folgt, daß eine Torsion von $\frac{700^\circ}{20} = 35^\circ$ erforderlich war, um den Stab um einen Grad von dem magnetischen Meridian abzulenken. — Hierauf wurde nun ein zweiter magnetisirter Stab von den nämlichen Dimensionen wie der erste in verticaler Richtung in die Drehwage gebracht, so daß die gleichnamigen Pole der beiden Stäbe einander gegenüber standen. Der horizontale Stab wurde abgestoßen und kam erst dann zur Ruhe, wenn der Abstoßungskraft der gleichnamigen Pole durch die vereinten Kräfte der Torsion des Fadens und des richtenden Erdmagnetismus das Gleichgewicht gehalten wurde; es fand diese Ruhelage bei einer Ablenkung des Stabes um 24° aus dem magnetischen Meridian statt. Der Stab wurde hier nach dem Nullpunkt zurücksollicitirt, durch eine Torsionskraft von 24° vermehrt um die richtende Kraft der Erde, welche einer Torsionskraft von $24 . 35^\circ = 840^\circ$ entsprach: Die Totalkraft war also $840^\circ + 24^\circ = 864^\circ$. — Alsdann ward der Zeiger des Torsionskreises um 3 mal 360° oder 1080° nach der den zuerst durchlaufenen 24° entgegengesetzten Richtung gedreht, wodurch der Stab bis auf 17° dem magnetischen Meridian genähert wurde. Bei diesem zweiten Versuche war die Totalkraft $1080^\circ + 17^\circ + 35 . 17^\circ = 1692^\circ$. — Endlich wurde der Draht noch um 5 mal 360° gedreht; der Stab blieb dann bei 12° von dem magnetischen Meridian stehen. Die Gesammtabstoßungskraft bei dem dritten Versuche betrug $8 . 360^\circ + 12^\circ + 12^\circ . 35 = 3312^\circ$. — Die Entfernungen in diesen Versuchen verhielten sich wie 24 : 17 : 12, wenn die Bogen mit ihren Sehnen als gleich geachtet werden, während die entsprechenden Abstoßungskräfte sich wie 864 : 1692 : 3312 verhielten, welche Zahlen nahezu im umgekehrten Verhältniß der Quadrate der ersteren stehen. — Die magnetischen Abstoßungen wie die magnetischen Anziehungen zweier aufeinander wirkender Pole verhalten sich also verkehrt wie die Quadrate der Entfernungen. Dieses Gesetz gilt jedoch nur so lange, als die anderen Pole in hinlänglicher Entfernung stehen, daß sie die Einwirkung der ersteren aufeinander nicht zu modificiren vermögen. — Ganz andere Resultate ergeben sich aber, wenn jene Bedingung nicht erfüllt ist und wir es mit der Gesammtwirkung magnetischer Körper aufeinander zu thun haben. Eine solche Totalaction ist jedoch eine nothwendige Folge des eben aufgestellten Gesetzes, daß die Einwirkungen, welche je zwei magnetische Elemente aufeinander ausüben, sich gerade wie die Intensitäten der Elemente und verkehrt wie das Quadrat ihrer Entfernung

verhalten. Wenn demnach die theoretischen Resultate mit den Erfahrungen übereinstimmen, so können sie als sichere Belege für die Richtigkeit des obigen Gesetzes gelten. Gauß hat allgemeine Formeln angegeben, nach denen die gegenseitige Einwirkung zweier Magnete für jede beliebige Lage berechnet werden kann. Hier sollen nur folgende zwei einfache Fälle in nähere Betrachtung gezogen werden.

Es seien A und B (Fig. 26) die Pole eines kurzen Magnetes, N und S die Pole einer kleinen Declinationsnadel, deren verlängerte magne-

Fig. 26.




tische Achse auf dem kurzen Magnetstabe senkrecht steht und ihn halbirt. Angenommen wird, daß die von den Polen A und B ausgehenden entgegengesetzten magnetischen Kräfte gleich stark sind und daß die Entfernung der kleinen Nadel vielmal größer ist als die Länge AB des Magnetes. Von den Punkten A und B aus erfolgt auf den Pol N eine Abstoßung in der Richtung NF und eine Anziehung in der Richtung NE; diese zwei einander gleiche Actionen erzeugen eine Resultirende ND, welche eine zu AB parallele Richtung hat. Heißt R die Größe der Resultirenden und F die gemeinschaftliche Größe der Componenten, so hat man wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke NDE und NAB die Proportion $R : F = AB : NB$, woraus $R = F \cdot \frac{AB}{NB}$. Setzt man $AB = \delta$, $NC = x$ und berücksichtigt, daß der Unterschied zwischen NB und NC gering ist; so wird $R = \frac{F \cdot \delta}{x}$. Bedeutet m die gemeinschaftliche Quantität des Magnetismus von A und B, $\mu$ jene von N und S; so ist $F = \frac{\mu m}{x^2}$, daher $R = \frac{\mu m \delta}{x^3} = \frac{\mu M}{x^3}$, wenn das magnetische Moment des Stabes mit M bezeichnet wird. Die Totalwirkung des Magnets AB auf die Declinationsnadel verhält sich also umgekehrt wie die dritte Potenz der Entfernung, wenn die Wirkung der einzelnen Pole im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung abnimmt.

Es bilde die Verlängerung des Magnetstabes AB (Fig. 27) mit der kleinen Declinationsnadel einen rechten Winkel und halbire sie zugleich. Wegen der Kleinheit der Nadel kann man $BS = BC$ und $AS = AC$ setzen. Sind F und F′ die Kräfte, mit denen die Magnetpole B und A auf N wirken, so ist deren Resultirende $R' = F - F' = \frac{m\mu}{BC^2} - \frac{m\mu}{AC^2}$.

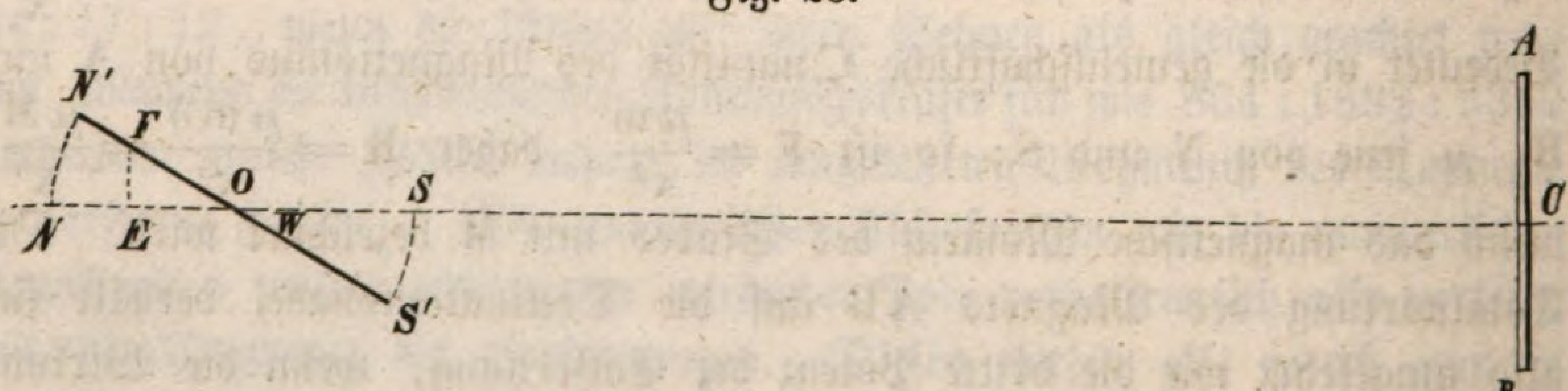
Fig. 27.




Setzt man wieder $AB = \delta$, $DC = x$, so kommt $R' = \frac{m\mu}{(x-\frac{1}{2}\delta)^2} - \frac{m\mu}{(x+\frac{1}{2}\delta)^2}$. Daraus entspringt $R' = \frac{2m\mu\delta}{x^3} = \frac{2\mu M}{x^3}$, wenn man $\frac{\delta^2}{4}$ im Vergleiche mit $x^2$ vernachlässigt. Im zweiten Falle ist also bei gleicher Entfernung die Resultirende doppelt so groß als im ersten.

Die oben angegebenen Gesetze lassen sich genau durch Versuche nachweisen. — Es sei NS (Fig. 28) die Ruhelage einer Declinationsnadel, deren Verlängerung den in beträchtlicher Entfernung liegenden Magnetstab AB in seiner Mitte unter einem rechten Winkel trifft. Unter dem Einfluß der horizontalen Componente $\mu H$ des Erdmagnetismus und der Kraft des Magnetes, welche wir oben durch R bezeichnet haben, wird die Nadel von dem magnetischen Meridian um den Winkel $NON' = w$ abgelenkt. Ziehen wir FE senkrecht auf NS, so ist, weil die Richtungen der Kräfte H und R zu EO und EF parallel laufen: $H : R = EO : FE = 1 : \text{tang}\, w$; woraus $R = \mu H . \text{tang}\, w$. — Die drehenden Kräfte R oder $\frac{\mu M}{x^3}$ werden sich demnach wie die Tangenten der Ablenkungswinkel und bei kleinen Ablenkungen wie die Winkel selbst verhalten. Auch werden die Tangenten der Ablenkungswinkel im umgekehrten Ver-

Fig. 28.

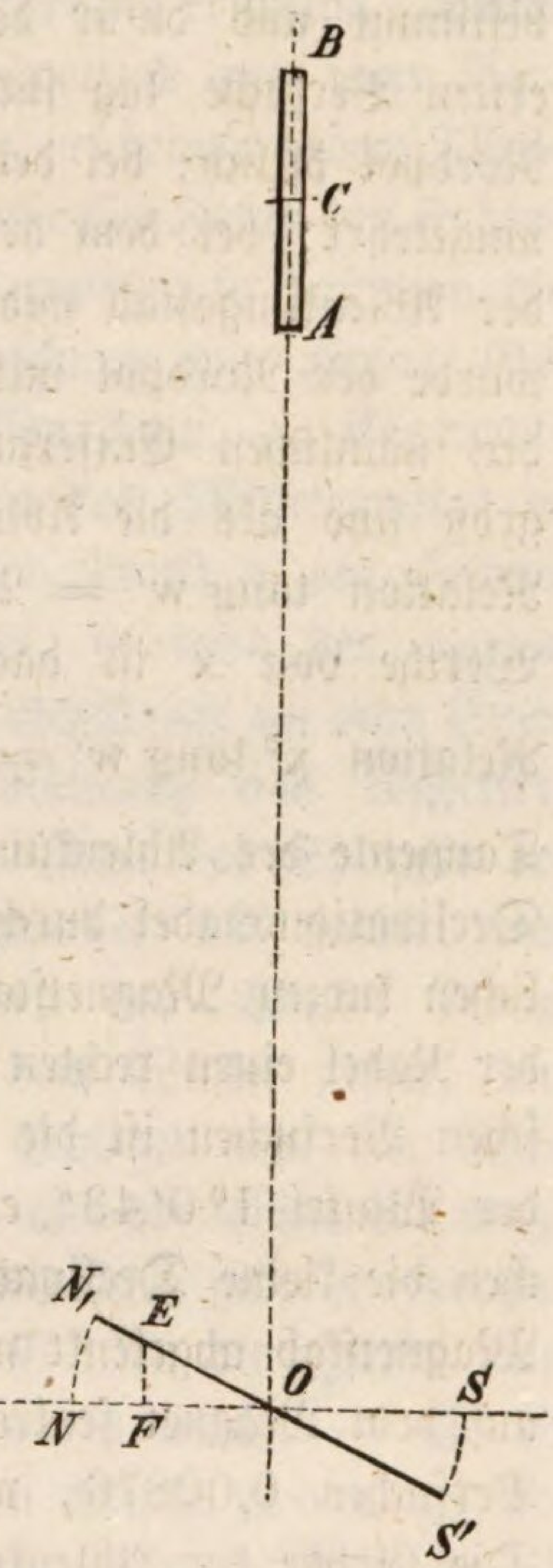



hältniß der dritten Potenzen der Entfernungen der Nadel von der Mitte des einwirkenden Magnetstabes stehen.

Es sei NS (Fig. 29) die Ruhelage einer Declinationsnadel und AB ein abermals in beträchtlicher Entfernung davon befindlicher kurzer Magnetstab, dessen Verlängerung die NS in ihrer Mitte unter einem rechten Winkel schneidet. Die horizontale Componente H des Erdmagnetismus und die Kraft des Magnetes, welche wir oben durch R′ dargestellt haben,

nöthigen die Nadel, die Position NS zu verlassen und die Position N′S′ anzunehmen, die mit der früheren den Winkel $NON' = w'$ einschließt. Es ist hier

Fig. 29.




$$\text{tang } w' = \frac{EF}{OF} = \frac{R'}{\mu H'}, \text{ oder } R' = \mu H \text{ tang } w''$$

aus welcher Gleichung sich die nämlichen Resultate wie aus der Gleichung $R = \mu H \text{ tang } w$ ergeben. Da $R' = 2R$, so ist $\text{tang } w' = 2 \text{ tang } w$, d. h. bei einerlei Entfernung der Declinationsnadel von dem Magnetstab ist die Tangente des Ablenkungswinkels im zweiten Falle doppelt so groß als die Tangente des Ablenkungswinkels im ersten Falle.

Wir wollen jetzt die Versuche mittheilen, welche W. Weber angestellt hat, um nachzuweisen, daß die Totalwirkung eines kurzen Magnetstabes auf eine fern liegende kleine Declinationsnadel sich umgekehrt wie die dritte Potenz seiner Entfernung verhält. — Bei einer Versuchsreihe wurde die Nadel auf einen etwas breiten auf dem magnetischen Meridian senkrecht stehenden Maßstab gesetzt; alsdann ein 1 Decimeter langer Magnetstab in verschiedenen Entfernungen seiner Mitte vom Mittelpunkte der Nadel auf den Maßstab gelegt. Die Ablenkung w′ der Nadel wurde für jede Entfernung mit möglichster Sorgfalt gemessen und dafür das Mittel aus vier Versuchen genommen. — Bei dem ersten Versuche lag der Ablenkungsstab östlich von dem magnetischen Meridian und der Nordpol des Stabes der Nadel am nächsten; bei dem zweiten Versuche ward der Südpol mit dem Nordpole vertauscht; bei dem dritten Versuche befand sich der Ablenkungsstab westlich von dem magnetischen Meridian und der Nordpol des Stabes der Nadel am nächsten; bei dem vierten Versuche wurde der Südpol mit dem Nordpol verwechselt. — Die Versuche gaben die in folgender Tabelle zusammengestellten Resultate:

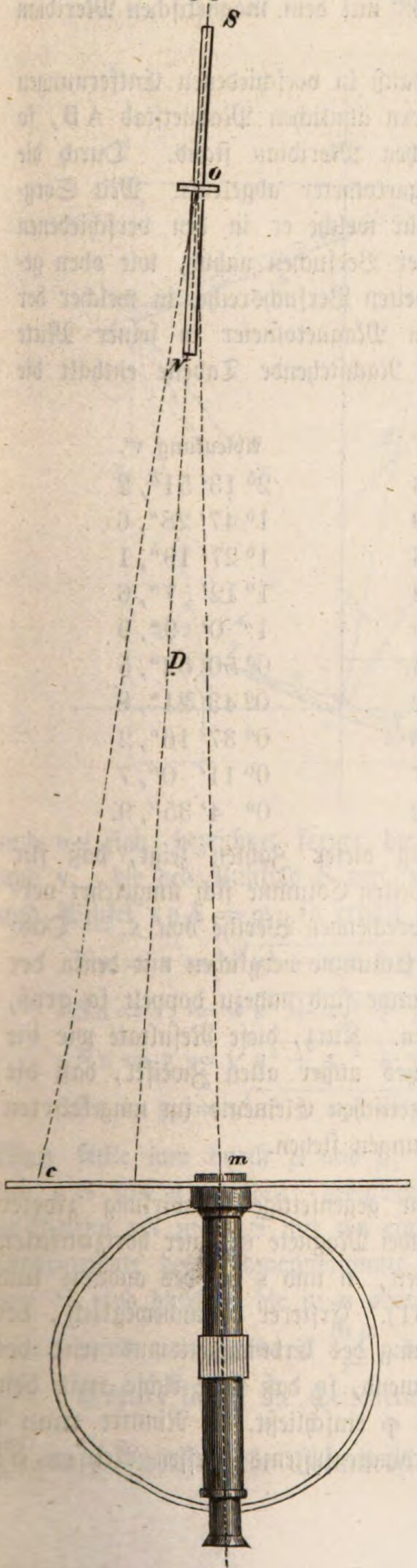
| x in Meter. | Ablenkung w′. | tang w′. |
|---|---|---|
| 0,45 | 11° 24′ | 0,20163 |
| 0,40 | 16° 2′ | 0,28709 |
| 0,35 | 23° 28′ 50″ | 0,43440 |
| 0,30 | 35° 17′ 25″ | 0,70779. |

Bei einer zweiten Versuchsreihe legte Weber den Maßstab in die Richtung des magnetischen Meridians und den Ablenkungsstab rechtwinklig

auf denselben. Auch hier wurde die Ablenkung w der Nadel mit Sorgfalt bestimmt und dafür der Werth aus vier Versuchen gesetzt. Bei dem ersten Versuche lag südlich von der Nadel der Ablenkungsstab und dessen Nordpol östlich; bei dem zweiten Versuche wurde der Stab in dieser Lage umgekehrt; bei dem dritten Versuche befand sich nördlich von der Nadel der Ablenkungsstab und dessen Nordpol östlich; bei dem vierten Versuche wurde der Nordpol mit dem Südpol vertauscht. — Weber fand, daß bei den nämlichen Entfernungen die Tangenten der Ablenkungen w halb so groß sind als die Ablenkungen w′ in der ersten Versuchsreihe, wie die Relation $\tang w' = 2 \tang w$ es mit sich bringt. — Für sehr große Werthe von x ist das Produkt $x^3 \tang w'$ unveränderlich, wie es die Relation $x^3 \tang w' = \frac{2M}{H}$ verlangt. — Dieses Produkt kann als die Tangente des Ablenkungswinkels angesehen werden, um welchen die kleine Declinationsnadel durch den in der Entfernung von einem Meter befindlichen kurzen Magnetstab abgelenkt wird, wenn dessen Verlängerung mit der Nadel einen rechten Winkel macht und sie halbirt. — Bei den Weber'schen Versuchen ist die Tangente jenes Winkels 0,01753, welchem Werthe der Winkel 1° 0′ 43″ entspricht. — Die Tangente des Winkels, um welchen die kleine Declinationsnadel durch den um 1 Meter entfernten kurzen Magnetstab abgelenkt wird, wenn die Verlängerung der Achse der Nadel auf dem Magnet senkrecht stand und ihn halbirte, ist bei den Weber'schen Versuchen 0,00876, welchem Werthe der Winkel 30′ 21″ zugehört. — Die Größe der Ablenkung hängt von der magnetischen Beschaffenheit des Ablenkungsstabes ab; sie wird offenbar desto geringer ausfallen, je schwächer dieser Magnet ist.

Wir gehen jetzt zu den Versuchen über, welche Gauß anstellte, um den für die Totalaction eines Magnets in die Ferne gefundenen Ausdruck zu prüfen. Er bediente sich dazu seines von ihm erdachten Magnetometers, d. h. eines an einem Bündel ungedrehter Seidenfäden aufgehängten Magnetstabes, an dessen einem Ende ein vollkommen ebener Spiegel angebracht war. Dem Spiegel gegenüber, dessen Ebene rechtwinklig auf der magnetischen Achse des Magnetstabes NS stand, wurde in einer Entfernung von 1 bis 4 Meter ein Theodolit aufgestellt, wie es Fig. 30 angibt. Die optische Achse des Fernrohrs ist gegen die Mitte des Spiegels gerichtet, dabei am Stativ des Theodoliten eine ein Meter lange in Millimeter getheilte horizontale Scala befestigt. Diese Scala liegt in einer solchen Höhe, daß das Bild eines Theils derselben im Spiegel durch das Fernrohr gesehen wird. Die Aufstellung ist der Art ausgeführt, daß die Verticalebene der optischen Achse des Fernrohrs mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt; in welchem Falle das Bild des von der Mitte

Fig. 30.




der Scala hängenden Fadens in der Achse des Fernrohrs erscheint. Wenn aber der Magnetstab aus jener Verticalebene tritt, erscheinen andere Theilstriche am verticalen Faden des Fadenkreuzes im Fernrohr, so daß man die kleinste Abweichung mit großer Genauigkeit messen kann. — Angenommen, daß statt des Mittelpunktes m der Scala der Punkt c am Fadenkreuz erscheint, so wird der von c herkommende Lichtstrahl co vom Spiegel in der Richtung om reflectirt. Das auf der Ebene des Spiegels errichtete Perpendikel oD halbirt den Winkel com; der Winkel Dom kommt aber dem Winkel gleich, um welchen der Spiegel oder die Achse des Magnets aus der Ebene des magnetischen Meridians gedreht worden ist, welcher Winkel die Hälfte von dem Winkel com macht. — Es ist aber leicht den Winkel com zu bestimmen. Denn wäre z. B. mc = 1 Centimeter, mo = 5 Meter, so ist $mc = \frac{1}{500}$ von mo. Hiernach ergibt sich für die Bestimmung des Winkels moc die Proportion:

$$3{,}14 : 180^0 = \frac{1}{500} : \text{Winkel } com;$$

woraus Winkel com = $0{,}114^0$ = 6,84′. — Wäre der Punkt c nur 1 Millimeter von m entfernt, dann würde der Winkel com = 0,684′ = 41″ betragen; mithin die entsprechende Ablenkung des Magnets gleich 20,5″. Daraus folgt, daß, wenn der im Fadenkreuz des Fernrohrs erscheinende Theilstrich c der Scala n Millimeter weit von m absteht, die Achse des

Magnetstabes einen Winkel von n . 20,5″ mit dem magnetischen Meridian macht.

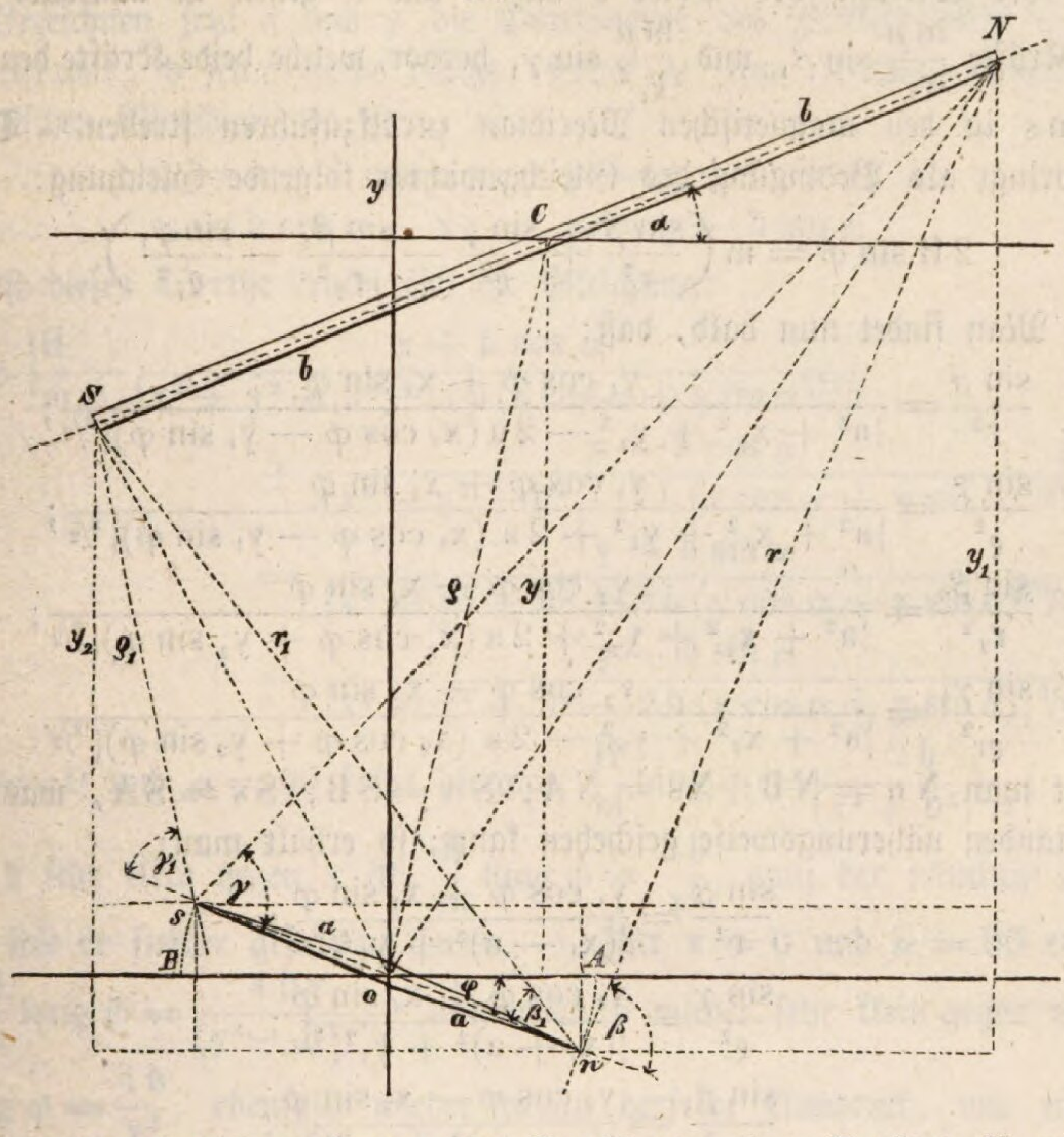
Dies vorausgeschickt, legte nun Gauß in verschiedenen Entfernungen von dem Magnetometer NS einen andern ähnlichen Magnetstab AB, so daß er rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian stand. Durch die Ablenkung des Stabes wurde das Magnetometer abgelenkt. Mit Sorgfalt bestimmte er die Ablenkungen v, für welche er in den verschiedenen Entfernungen die Mittelwerthe aus vier Versuchen nahm, wie oben geschehen. — Dasselbe that er bei der zweiten Versuchsreihe, in welcher der ablenkende Stab verlängert gedacht den Magnetometer in seiner Mitte unter einem rechten Winkel trifft. — Nachstehende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche:

| x in Meter. | Ablenkung v. | Ablenkung v′. |
|---|---|---|
| 1,3 | 1° 10′ 19″, 3 | 2° 13′ 51″, 2 |
| 1,4 | 0° 55′ 58″, 9 | 1° 47′ 28″, 6 |
| 1,5 | 0° 45′ 14″, 3 | 1° 27′ 19″, 1 |
| 1,6 | 0° 37′ 12″, 2 | 1° 12′ 7″, 6 |
| 1,7 | 0° 30′ 57″, 9 | 1′ 0′ 9″, 9 |
| 1,8 | 0⁵ 25′ 59″, 5 | 0° 50′ 52″, 5 |
| 1,9 | 0° 22′ 9″, 2 | 0° 43′ 21″, 8 |
| 2 | 0° 19′ 1″, 6 | 0° 37′ 16″, 2 |
| 3 | 0° 5′ 33″, 7 | 0° 11′ 0″, 7 |
| 4 | 0° 2′ 22″, 2 | 0° 4′ 35″, 9. |

Die vergleichende Zusammenstellung dieser Zahlen zeigt, daß für größere Entfernungen die Werthe der zweiten Columne sich umgekehrt verhalten wie die dritten Potenzen der entsprechenden Werthe von x. — Dasselbe gilt von den Werthen der dritten Columne verglichen mit denen der ersten. — Die Zahlen der dritten Columne sind nahezu doppelt so groß, als die entsprechenden Zahlen der zweiten. Kurz, diese Resultate wie die vorigen setzen die Richtigkeit des Gesetzes außer allen Zweifel, daß die gegenseitigen Einwirkungen zweier magnetischen Elemente im umgekehrten Verhältniß der Quadrate ihrer Entfernungen stehen.

Die allgemeinere Aufgabe über die gegenseitige Einwirkung zweier Magnete lautet wie folgt. Es liegen zwei Magnete in einer horizontalen Ebene; N und S sind die Pole des einen, n und s die des andern und o der Mittelpunkt des Letzteren (Fig. 31). Ersterer ist unbeweglich, der andere beweglich und durch die Einwirkung des Erdmagnetismus und des festen Magnets NS die Lage ns annehmend, so daß seine Achse mit dem magnetischen Meridian AB den Winkel $\varphi$ einschließt. — Nimmt man o als Ursprung eines rechtwinkligen Coordinatensystems, dessen Achsen oB

Fig. 31.




und o y sind, bezeichnet ferner die Coordinaten des Punktes N mit $x_1$ und $y_1$, die des Punktes S mit $x_2$ und $y_2$, setzt weiter $o n = o s = a$ und Winkel $s o A = \varphi$; so erhält man:

$$N n = r = \sqrt{a^2 + x_1{}^2 + y_1{}^2 - 2 a (x_1 \cos \varphi - y_1 \sin \varphi)};$$

$$S n = r_1 = \sqrt{a^2 + x_2{}^2 + y_2{}^2 + 2 a (x_2 \cos \varphi + y_2 \sin \varphi)};$$

$$N n = \varrho = \sqrt{a^2 + x_1{}^2 + y_1{}^2 + 2 a (x_1 \cos \varphi - y_1 \sin \varphi)};$$

$$S s = \varrho_1 = \sqrt{a^2 + x_2{}^2 + y_2{}^2 - 2 a (x_2 \cos \varphi + y_2 \sin \varphi)};$$

Man stelle nun durch $\beta$ und $\beta_1$ die Winkel dar, welche die Linien n N und n S mit n s bilden; desgleichen durch $\gamma$ und $\gamma_1$ die Winkel, welche die Linien s N und s S mit n s einschließen; endlich durch H die horizontale Componente des Erdmagnetismus, durch m die magnetische Kraft in N oder S und durch $\mu$ die in n oder s. — Die Wirkung des Poles N auf n hat dann zum Ausdruck $\frac{m \mu}{r^2}$, die desselben Poles auf s zum Ausdruck $\frac{\mu m}{\varrho^2}$. Erstere liefert die Seitenkraft $\frac{\mu m}{r^2} \sin \beta$, letztere die Seitenkraft $\frac{\mu m}{\varrho^2} \sin \gamma$, welche beide Seitenkräfte dem Erdmagnetismus entgegenwirken.

Aus der Wirkung des Poles S auf n und s gehen in ähnlicher Weise die Kräfte $\frac{m\mu}{r_1^2}\sin\beta_1$ und $\frac{m\mu}{\varrho_1^2}\sin\gamma_1$ hervor, welche beide Kräfte den Magnet ns in den magnetischen Meridian zurückzuführen streben. Daraus entspringt als Bedingung des Gleichgewichtes folgende Gleichung:

$$2H\sin\varphi = m\left(\frac{\sin\beta}{r^2} + \frac{\sin\gamma}{\varrho^2} - \frac{\sin\beta_1}{r_1^2} - \frac{\sin\gamma_1}{\varrho_1^2}\right).$$

Man findet nun bald, daß:

$$\frac{\sin\beta}{r^2} = \frac{y_1\cos\varphi + x_1\sin\varphi}{\{a^2 + x_1^2 + y_1^2 - 2a(x_1\cos\varphi - y_1\sin\varphi)\}^{3/2}};$$

$$\frac{\sin\gamma}{\varrho^2} = \frac{y_1\cos\varphi + x_1\sin\varphi}{\{a^2 + x_1^2 + y_1^2 + 2a(x_1\cos\varphi - y_1\sin\varphi)\}^{3/2}};$$

$$\frac{\sin\beta_1}{r_1^2} = \frac{y_2\cos\varphi - x_2\sin\varphi}{\{a^2 + x_2^2 + y_2^2 + 2a(x_2\cos\varphi + y_2\sin\varphi)\}^{3/2}};$$

$$\frac{\sin\gamma_1}{\varrho_1^2} = \frac{y_2\cos\varphi - x_2\sin\varphi}{\{a^2 + x_2^2 + y_2^2 - 2a(x_2\cos\varphi + y_2\sin\varphi)\}^{3/2}}.$$

Setzt man $Nn = NB$; $Ns = NA$; $Sn = SB$; $Ss = SA$, was unter Umständen näherungsweise geschehen kann; so erhält man:

$$\frac{\sin\beta}{r^2} = \frac{y_1\cos\varphi + x_1\sin\varphi}{\{(x_1 - a)^2 + y_1^2\}^{3/2}};$$

$$\frac{\sin\gamma}{\varrho^2} = \frac{y_1\cos\varphi + x_1\sin\varphi}{\{(x_1 + a)^2 + y_1^2\}^{3/2}};$$

$$\frac{\sin\beta_1}{r_1^2} = \frac{y_2\cos\varphi - x_2\sin\varphi}{\{(a + x_2)^2 + y_2^2\}^{3/2}};$$

$$\frac{\sin\gamma_1}{\varrho_1^2} = \frac{y_2\cos\varphi - x_2\sin\varphi}{\{(a - x_2)^2 + y_2^2\}^{3/2}}.$$

Wird a klein im Vergleich gegen $x_1$ und $x_2$ angenommen, so verwandeln sich die vorigen Ausdrücke in:

$$\frac{\sin\beta}{r^2} = \frac{y_1\cos\varphi + x_1\sin\varphi}{(x_1^2 + y_1^2)^{3/2}};$$

$$\frac{\sin\gamma}{\varrho^2} = \frac{y_1\cos\varphi + x_1\sin\varphi}{(x_1^2 + y_1^2)^{3/2}};$$

$$\frac{\sin\beta_1}{r_1^2} = \frac{y_2\cos\varphi - x_2\sin\varphi}{(x_2^2 + y_2^2)^{3/2}};$$

$$\frac{\sin\gamma_1}{\varrho_1^2} = \frac{y_2\cos\varphi - x_2\sin\varphi}{(x_2^2 + y_2^2)^{3/2}}.$$

Hieraus entspringt:

$$H\sin\varphi = m\left\{\frac{y_1\cos\varphi + x_1\sin\varphi}{(x_1^2 + y_1^2)^{3/2}} - \frac{y_2\cos\varphi - x_2\sin\varphi}{(x_1^2 + y_1^2)^{3/2}}\right\};$$

oder

$$\tang\varphi\left\{\frac{H}{m} - \frac{x_1}{(x_1^2 + y_1^2)^{3/2}} - \frac{x_2}{(x_2 + y_2)^{3/2}}\right\} = \frac{y_1}{(x_1^2 + y_1^2)^{3/2}} - \frac{y_2}{(x_2^2 + y_2^2)^{3/2}}.$$

Bezeichnen jetzt x und y die Coordinaten des Mittelpunktes C des Magnetstabes, b seine halbe Länge, ferner $\alpha$ seine Neigung gegen den magnetischen Meridian; so ist:

$$x_1 = x + b \cos \alpha; \qquad y_1 = y + b \sin \alpha;$$
$$x_2 = b \cos \alpha - x; \qquad y_2 = y - b \sin \alpha.$$

Mittelst dieser Werthe ergibt sich die Gleichung:

$$\operatorname{tang} \varphi \left\{ \frac{H}{m} - \frac{x + b \cos \alpha}{[x^2 + y^2 + b^2 + 2b(x \cos \alpha + y \sin \alpha)]^{3/2}} + \frac{x - b \cos \alpha}{(x^2 + y^2 + b^2 - 2b(x \cos \alpha + y \sin \alpha)^{3/2}} \right\} =$$
$$= \frac{y + b \sin \alpha}{[x^2 + y^2 + b^2 + 2b(x \cos \alpha + y \sin \alpha)]^{3/2}} - \frac{y - b \sin \alpha}{[x^2 + y^2 + b^2 - 2b(x \cos \alpha + y \sin \alpha)]^{3/2}}.$$

Für $y = 0$ und $\alpha = 90$ folgt hieraus: $\frac{H}{m} \operatorname{tang} \varphi = \frac{2b}{(x^2 + b^2)^{3/2}}$; und wenn b sehr klein gegen x ist, $\frac{H}{m} \operatorname{tang} \varphi = \frac{2b}{x^3}$, ganz der nämliche Ausdruck, wie er früher gefunden wurde. — Für $x = 0$ und $\alpha = 90$ ergibt sich $\frac{H}{m} \operatorname{tang} \varphi = \frac{4by}{(y^2 - b^2)^{3/2}}$; und wenn b wieder sehr klein gegen y ist, $\frac{H}{m} \operatorname{tang} \varphi = \frac{4b}{y^3}$, ebenfalls wieder genau derselbe Ausdruck, wie er an früherer Stelle mitgetheilt worden.

### 3. Vertheilung der magnetischen Intensität in den Magneten.

Wir wollen jetzt den magnetischen Zustand der verschiedenen Punkte eines Magnets näher untersuchen. Coulomb befestigte deßhalb in der Torsionswage in der Ebene des magnetischen Meridians in verticaler Lage einen dünnen hölzernen Streifen dergestalt, daß die bewegliche Magnetnadel in ihrer Ruhelage den Holzstreifen berührte, ohne einen Druck gegen denselben auszuüben. Hierauf brachte er hinter den Holzstreifen in verticaler Lage den Magnetstab, für welchen die magnetische Intensität an verschiedenen Stellen untersucht werden sollte, so daß eine Abstoßung stattfand. Alsdann wurde der Aufhängedraht der Nadel so weit zurückgedreht, bis diese wieder den Holzstreifen berührte, ohne ihn zu drücken. Der Torsionswinkel gab die zu messende Repulsionskraft an. Indem so Coulomb successiv die verschiedenen Querschnitte der Hälfte des Magnets der Nadel gegenüberstellte und jedesmal die Torsion des Fadens bestimmte, welche die Nadel in ihre primitive Lage zurückführte, vermochte er die magnetische Intensität für die verschiedenen Stellen des Stabes anzugeben. — Eigent-

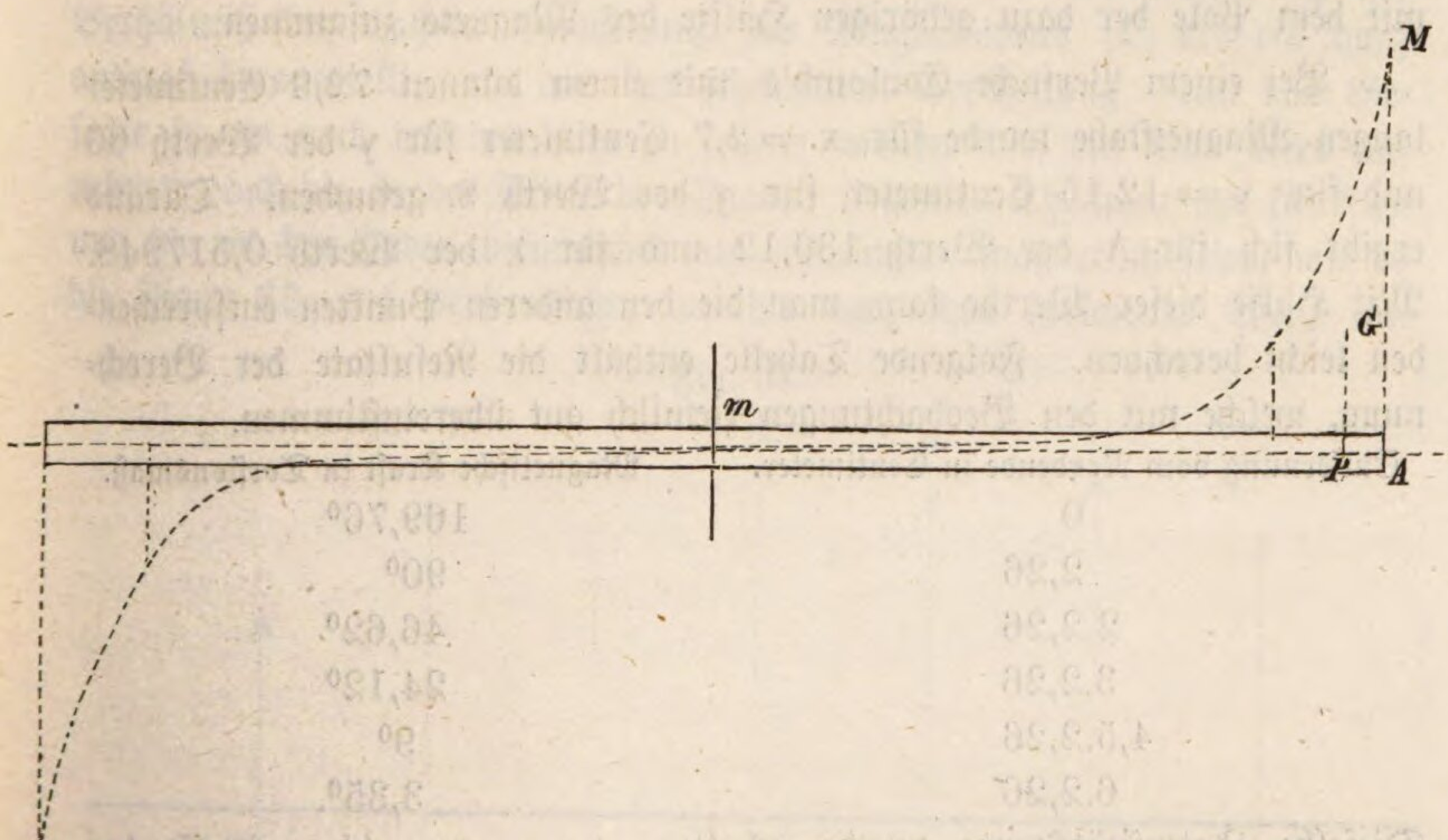
lich ist nicht die magnetische Intensität $\mu$ der der Nadel gegenüberliegenden Schichte des verticalen Magnets die einzige Ursache der bei jeder Beobachtung gemessenen Abstoßungskraft; letztere ist vielmehr die Resultirende aus den magnetischen Kräften aller Schichten des verticalen Magnets. Bezeichnen wir daher mit $\mu + \alpha$ die magnetische Intensität der in der Entfernung x unter der Durchkreuzungsstelle und mit $\mu - \alpha$ jene Intensität der in gleicher Entfernung über der Durchkreuzungsstelle liegenden Schichte, so sind die daraus entspringenden Repulsionskräfte beziehungsweise $\frac{\mu + \alpha}{r^2 + x^2}$ und $\frac{\mu - \alpha}{r^2 + x^2}$, wo r die Dicke des hölzernen Streifens darstellt. Die horizontalen Componenten dieser Kräfte wirken allein auf Abstoßung, sie müssen deßhalb mit einem Cosinus, dessen Werth $\frac{r}{\sqrt{r^2 + x^2}}$ ist, multiplicirt werden. Hiernach entspringt für die Summe dieser horizontalen Componenten der Ausdruck $\frac{2\mu r}{(r^2 + x^2)^{3/2}}$. Indem wir für je zwei in gleicher Entfernung über und unter der Durchkreuzungsstelle liegende Schichten dasselbe thun, bekommen wir für die Gesammtabstoßung den Ausdruck: $\mu\left(\frac{1}{r^2} + \frac{2r}{(r^2 + x^2)^{3/2}} + \frac{2r}{(r^2 + x'^2)^{3/2}} \ldots\right)$. Derselbe zeigt uns, wenn r sehr klein ist, daß die in Rede stehende Mittelkraft von der Action der der Nadel gegenüberliegenden Schichte des verticalen Magnets wenig verschieden ist.

Coulomb hat auch die Methode der Schwingungen angewendet, um die Vertheilung des Magnetismus in einem Magnet kennen zu lernen. Zu diesem Behufe näherte er bis auf eine geringe Entfernung dem Südpole einer kleinen an einem Seidenfaden aufgehangenen Magnetnadel die Nordhälfte eines verticalen Magnetstabes. Die Nadel aus dem magnetischen Meridian entfernt begann zu schwingen unter dem vereinten Einflusse der horizontalen Componente H des Erdmagnetismus und des Magnetismus m desjenigen Theils des Stabes, welcher in der Ebene der horizontalen Achse der Nadel lag. Es sei k die Zahl der Schwingungen, welche die Nadel unter dem Einfluß der Erde in der Zeit t machte; n die Zahl der Schwingungen der Nadel in derselben Zeit, wenn sie dem Punkte p gegenüberstand, dessen magnetische Intensität m; n' die Zahl der Schwingungen der Nadel in derselben Zeit, wenn sie dem Punkte p' sich gegenüber befand, dessen magnetische Intensität m'. — Den Gesetzen der Pendelschwingungen gemäß haben wir $m + H : H = n^2 : k^2$ und $m' + H : H = n'^2 : k^2$; woraus entspringt $\frac{m}{m'} = \frac{n^2 - k^2}{n'^2 - k^2}$. — Auf diese Weise lassen sich die Intensitäten der verschiedenen Querschnitte des Magnets in seiner ganzen Länge vergleichen. — Wenn die Nadel vor dem Ende selbst oscillirt, ist

die erhaltene Wirkung zu verdoppeln, weil die Nadel nur von der Hälfte derjenigen Kraft sollicitirt wird, welche auf sie wirken würde, wenn sich der Draht mit dem ihm zukommenden Magnetismus fortgesetzt hätte.

Coulomb hat die Resultate seiner Beobachtungen graphisch dargestellt, indem er auf der Achse des Magnets Perpendikel errichtete und diesen die Länge gab, welche der beobachteten Intensität entsprach. Die Curve, welche die Endpunkte der Perpendikel verband, nannte er die Intensitätscurve. Die von Coulomb für einen dünnen Stahldraht verzeichnete Curve besteht aus zwei sogenannten logarithmischen Curven, die von den beiden Enden des Drahtes ihren Ursprung nehmend gleiche aber in der Richtung entgegengesetzte Ordinaten haben, wie es in der Figur 32 dargestellt ist.

Fig. 32.




In der Mitte des Magnets fällt die Intensitätscurve mit der Achse zusammen; was zeigt, daß in einer gewissen Entfernung auf beiden Seiten von der Mitte aus die magnetische Intensität Null ist. — Gegen die Endpunkte des Magnets hin erhebt sich die Curve schnell, so daß die aufeinander folgenden Theile des Magnets eine um so größere magnetische Intensität besitzen, je näher sie den Endpunkten der Achse liegen.

Bezeichnet $2l$ die Länge des Magnetstabes, x die Entfernung des Endes des Stabes von dem Punkte, dessen magnetische Intensität $= y$ ist; so wird die Vertheilung des Magnetismus durch die Formel $y = A(\lambda^x - \lambda^{2l-x})$ ausgedrückt, in welcher A und λ zwei durch Versuche zu bestimmende Constanten sind. — Am ersten Ende des Stabes ist $x = 0$, mithin $y = A(1 - \lambda^{2l})$; am andern Ende ist $x = 2l$, folglich daselbst $y = A(\lambda^{2l} - 1)$; für $x = l$ wird $y = 0$. An den beiden Enden sind die

Intensitäten gleich, nur den Zeichen nach entgegengesetzt. — Wenn der Draht sehr lang ist, wird das Glied $\lambda^{2l-x}$ unmerklich, weil λ kleiner als die Einheit ist. Für solche Stäbe wird die Vertheilung des Magnetismus durch die einfachere Formel $y = A\lambda^x$ ausgedrückt. Die Vertheilung der magnetischen Kraft ist daher in verschieden langen Stäben, wenn deren Länge eine gewisse Grenze überschreitet, von der Länge ganz unabhängig. Und in der That hat Coulomb durch Erfahrung gefunden, daß in dünnen Stahldrähten, deren Länge größer als 20 Centimeter ist, die Pole stets in gleicher Entfernung von den Endpunkten liegen. — Errichtet man von dem Schwerpunkte G des von der Achse des Magnetstabes, deren Ordinate AM und der Intensitätscurve eingeschlossenen Flächenraumes auf die Achse eine Senkrechte; so fällt der Fußpunkt dieser Senkrechten offenbar mit dem Pole der dazu gehörigen Hälfte des Magnets zusammen.

Bei einem Versuche Coulomb's mit einem dünnen 72,9 Centimeter langen Magnetstabe wurde für x = 2,7 Centimeter für y der Werth 90 und für x = 12,15 Centimeter für y der Werth 9 gefunden. Daraus ergibt sich für A der Werth 136,12 und für λ der Werth 0,517948. Mit Hülfe dieser Werthe kann man die den anderen Punkten entsprechenden leicht berechnen. Folgende Tabelle enthält die Resultate der Berechnung, welche mit den Beobachtungen ziemlich gut übereinstimmen.

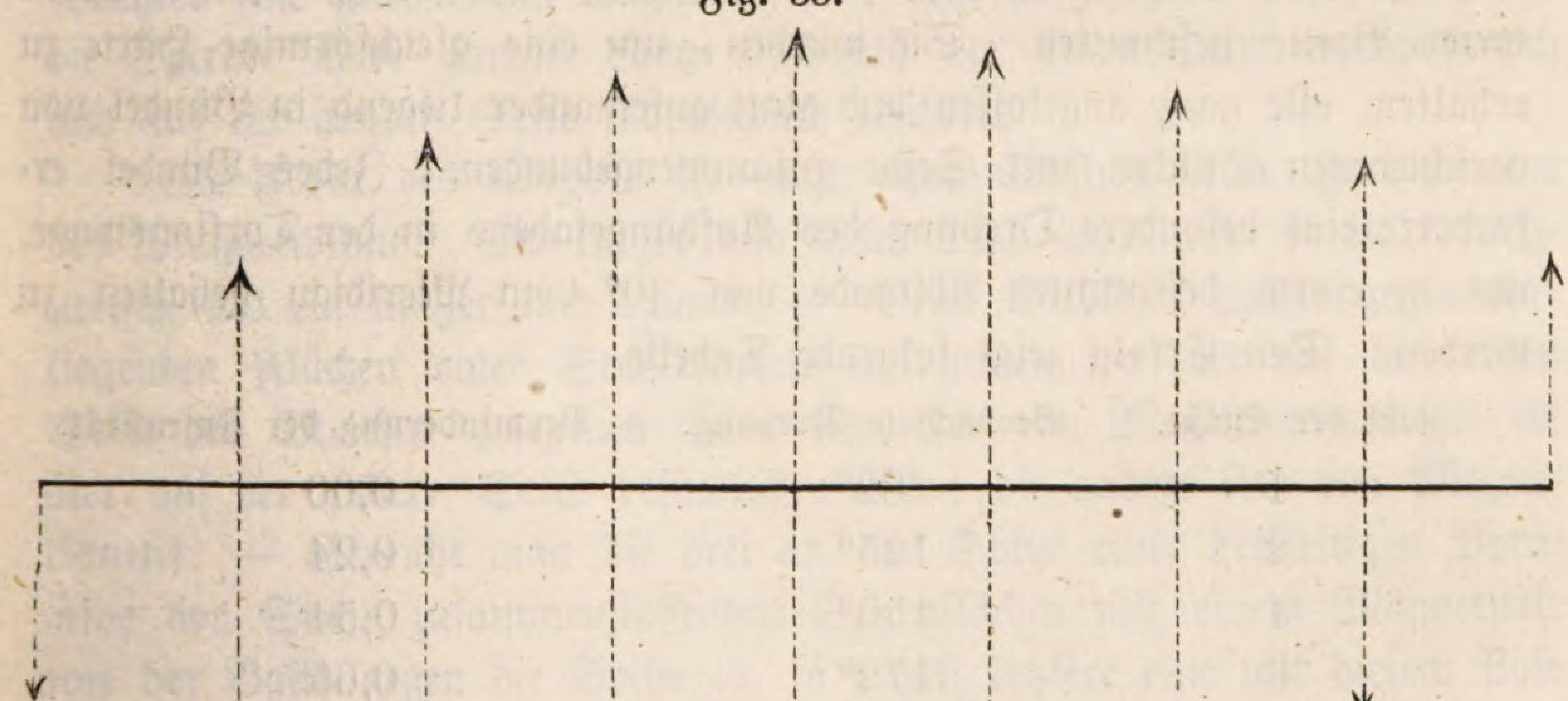
| Entfernung vom Nordende in Centimeter. | Magnetische Kraft in Torsionsmaß. |
|---|---|
| 0 | 169,76° |
| 2,26 | 90° |
| 2.2,26 | 46,62° |
| 3.2,26 | 24,12° |
| 4,5.2,26 | 9° |
| 6.2,26 | 3,35°. |

Dieselbe Intensitätscurve wurde erhalten, wenn man die mittelst der Schwingungsmethode gefundenen magnetischen Intensitäten proportional nach einer gewählten Einheit auftrug.

Bei Magnetnadeln, deren Transversaldimensionen gegen ihre Länge sehr klein sind, ist die Intensitätscurve genau dieselbe. Die Intensitätscurve ändert sich aber und damit auch die Lage der Pole, wenn jene Bedingung nicht erfüllt ist. — Die Entfernung der Pole von den Endpunkten der Nadel scheint mit dem Durchmesser derselben zu wachsen, wofern ihre Länge nicht kleiner als 20 Centimeter ist. — Bei sehr kurzen Magneten liegen die Pole um den sechsten Theil der Gesammtlänge von den Endpunkten entfernt. Diese Lage scheint eine Grenze zu sein, welcher die Pole desto näher rücken, je kürzer der Magnet wird. — Bei rautenförmigen Nadeln nähern sich die Pole der Mitte; bei pfeilförmigen Nadeln ist es schwierig die Pole zu bestimmen.

In der Mitte scheint der Magnet keine Thätigkeit zu besitzen, während die magnetischen Kräfte nach den Enden hin wachsen und in der Nähe derselben ihr Maximum erreichen. Damit ist jedoch keineswegs gesagt, daß wirklich auf der einen Hälfte des Magnets vorzugsweise Nordmagnetismus und auf der andern Hälfte vorzugsweise Südmagnetismus sich vorfindet. Wir wissen im Gegentheil, daß ein jedes Theilchen des Magnets für sich polarmagnetisch ist, so daß gleiche entgegengesetzte Magnetismen in demselben enthalten sind. Durch den Gegensatz der Nordpole und Südpole der aufeinander folgenden magnetischen Elemente wird die Wirkung eines jeden Pols durch die der angrenzenden Elemente zum Theil aufgehoben, so daß jeder Pol nur mit einer Differenz der magnetischen Kräfte nach außen wirken kann. — So ist es denn möglich, daß das Verhältniß der wahren Vertheilung des Magnetismus sich als ein ganz anderes herausstellt, als das der scheinbaren Vertheilung. Um das Gesagte in ein noch helleres Licht zu setzen, wollen wir mit Van Rees annehmen, daß die in der Mitte des Stabes liegenden Theilchen am stärksten und die an den Enden befindlichen am schwächsten magnetisch seien, wie es die Figur 33 uns versinnlicht, wo die nach oben gerichteten Pfeile den

Fig. 33.



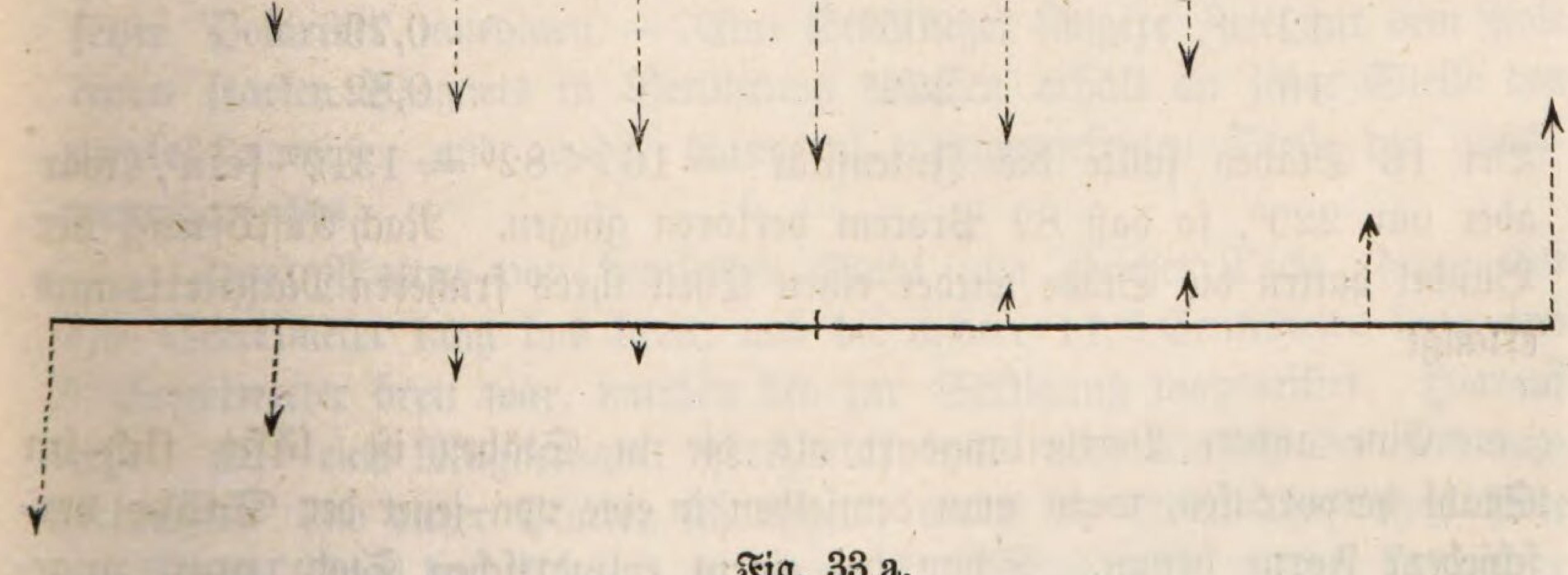


Fig. 33 a.

Nordmagnetismus und die nach unten gerichteten den Südmagnetismus darstellen. Daraus ergibt sich eine Vertheilung des freien Magnetismus, wie sie die Figur 33 a. uns vor Augen legt. In der Mitte ist der freie Magnetismus Null; von dort wächst auf der einen Hälfte der freie Nordmagnetismus, auf der andern der freie Südmagnetismus: eine Art der Vertheilung, wie sie in magnetisirten Stahlstäben vorkommt. — Einen Beleg für die Richtigkeit dieser Ansicht haben wir darin, daß, wenn man eine Reihe von Stahlstäbchen hintereinander legt und sie dann durch Streichen mit einem Magnetstabe magnetisch macht, nach dem Auseinandernehmen die mittleren Stäbe stärker magnetisch geworden sind als die an den Enden liegenden. — Eine weitere Stütze für die Ansicht finden wir darin, daß ein Magnetstab mit den ungleichnamigen Polen zwischen zwei andere Magnetstäbe gelegt dadurch kräftiger wird. Es ist dies eine nothwendige Folge der Einwirkung, welche die seitlichen Stäbe den Gesetzen der magnetischen Anziehung und Abstoßung gemäß auf den mittleren Stab ausüben.

Welchen beträchtlichen Theil ihres ursprünglichen Magnetismus übrigens Stäbe durch ihren wechselseitigen Einfluß einbüßen können, zeigen nachstehende von Coulomb ausgeführte Versuche. Er hatte nämlich aus einer großen Stahlplatte Stäbe von 16 Centimeter Länge und 2 Centimeter Breite geschnitten. Sie wurden, um eine gleichförmige Härte zu erhalten, alle ganz angelassen und glatt aufeinander liegend in Bündel von verschiedenen Stücken mit Seide zusammengebunden. Jedes Bündel erforderte eine besondere Drehung des Aufhängefadens in der Torsionswage, um in einem bestimmten Abstande von 30° vom Meridian gehalten zu werden. Den Erfolg zeigt folgende Tabelle.

| Zahl der Stäbe. | Beobachtete Drehung. | Verminderung der Intensität. |
|---|---|---|
| 1 | 82° | 0,00 |
| 2 | 125° | 0,24 |
| 4 | 150° | 0,54 |
| 6 | 172° | 0,65 |
| 8 | 182° | 0,72 |
| 12 | 205° | 0,79 |
| 16 | 229° | 0,82. |

Bei 16 Stäben sollte die Intensität $= 16 \times 82° = 1312°$ sein, war aber nur 229°, so daß 82 Procent verloren gingen. Nach Auflösung der Bündel hatten die Stäbe wieder einen Theil ihres früheren Magnetismus erlangt.

Eine andere Vertheilungsart als die in Stäben ist, läßt sich im Stahl hervorrufen, wenn man demselben in eine von jener der Stäbe verschiedene Form bringt. Schon bei einem cylindrischen Stab von unge=

härtetem Gußstahl, welcher an einem seiner Ende zugerundet und hierauf bis zur Sättigung magnetisirt wurde, fand sich die Kraft des Pols am abgerundeten Ende geringer als die des Pols am andern Ende. — Wurde das eine Ende des Stabes zugespitzt und dann der Stab bis zur Sättigung magnetisirt, so nahm die Kraft des zugespitzten Poles in dem Maße ab, als die Spitze schärfer war; dabei entfernte sich der Indifferenzpunkt immer mehr von diesem Ende. — Man berühre einen geschlossenen Stahlring an einer Stelle mit dem Pole eines Magnets; der Ring wird an der Berührungsstelle den ungleichnamigen und an der diametral gegenüber liegenden Stelle den gleichnamigen Pol erhalten. — Man wickle auf einen Holzcylinder einen Stahldraht in Spiralen auf, so daß sie einander berührend den Cylinder ganz bedecken und lasse die beiden Enden der Spirale über den Cylinder hinaus einige Centimeter lang geradlinig fortlaufen. Setzt man alsdann auf das eine Ende der Spirale den einen Pol eines Magnets und führt ihn nach der Länge des Cylinders hin, dergestalt, daß die Richtung des Striches mit der Achse des Cylinders in einer Ebene bleibt; so wird der spiralförmig gewundene Draht folgende magnetische Erscheinungen darbieten. Die beiden geradlinig fortlaufenden Stücke des Drahtes sind gleichnamig magnetisch mit dem aufgesetzten Pole, während die Spirale ihrer ganzen Länge nach auf der einen Seite nordpolarisch und auf der andern Seite südpolarisch erscheint.

Die Form des Körpers ist nicht ohne Einfluß beim Hervortreten des Magnetismus. Ein kurzer und dicker Stab wird nicht so stark magnetisch, als ein langer und dünner. — Beim Streichen zweier gegenüberliegenden Flächen eines Stahlwürfels bekommen die vier auf der einen Seite des Striches gelegenen Ecken eine Art von Magnetismus und die vier auf der andern Seite befindlichen Ecken die andere Art von Magnetismus. — Streicht man die drei an der Spitze einer dreiseitigen Pyramide von Stahl zusammenstoßenden Seitenflächen mit einem Magnetpole von der Basis gegen die Spitze zu, so erhält letztere eine mit diesem Pole gleiche Polarität, während die drei Ecken der Grundfläche die entgegengesetzte Polarität annehmen. — Eine Stahlkugel längere Zeit mit dem Pole eines starken Magnets in Berührung gelassen erhält an jener Stelle den ungleichnamigen und an der diametral entgegengesetzten Stelle den gleichnamigen Pol.

Zwei Platten von demselben Stahl und gleicher Dicke, deren eine 7,5 Centimeter lang und breit, und die andere 11,2 Centimeter lang und 5 Centimeter breit war, wurden bis zur Sättigung magnetisirt. Hierauf ließen wir eine Magnetnadel horizontal unter dem Einfluß des Erdmagnetismus und dieser Platten schwingen, wobei die freundschaftlichen Pole der Nadel und der Platten in einer Entfernung von einem Decimeter

standen. Die Versuche wurden auf zweierlei Art angestellt: bei der einen lagen die Platten auf einer horizontalen Unterlage in gleicher Höhe mit der Declinationsnadel, bei der andern ließ man die Platten auf einer Spitze schweben. Unter solchen Umständen fanden wir folgende Resultate. Unter dem bloßen Einflusse des Erdmagnetismus brauchte die Nadel zu 20 Schwingungen 40 Secunden; dagegen 28″,8, wenn ihr der ungleichnamige Pol der quadratförmigen Platte gegenüberstand; und nur 26″,6, wenn der Pol der rechteckigen Platte gegenüberlag. — In der schwebenden Lage brauchte die Nadel zu 20 Schwingungen bei der rechteckigen Platte 25″,6 und bei der quadratförmigen 26″,7. — Bei der rechteckigen Platte fiel die magnetische Achse mit der durch die Mitte zu der längeren Seite parallel gezogenen Linie zusammen, während bei der quadratförmigen Platte jene Achse die Richtung, in welcher der Strich geführt wurde, unter einem Winkel von 26° 34′ schnitt. — Die Schwingungsdauer der rechteckigen Platte betrug 6″,5, die der quadratförmigen 6″,1.

Wir ließen uns aus gleichem Stahl zwei Cylinder verfertigen, beide von 15 Centimeter Länge; den einen massiv, den andern in der Richtung der Achse durchbohrt. Der erste hatte einen Durchmesser von 25 Millimeter und wog 584,4 Grammes; bei dem zweiten betrug das Gewicht 430,4 Grammes und der Durchmesser der Höhlung 13 Millimeter. — Beide Cylinder wurden auf einerlei Weise bis zur Sättigung magnetisirt. In gleichem Abstande von einer Magnetnadel gebracht, gab der massive Cylinder 36 Grad, der hohle dagegen 47 Grad Ablenkung. — Bei einem Oscillationsversuche haben wir gefunden, daß eine Magnetnadel, die unter dem bloßen Einflusse des Erdmagnetismus zu 20 Schwingungen 40″ Secunden brauchte, bei dem massiven in 20″, bei dem hohlen in 18,5″ dieselbe Zahl von Schwingungen vollbrachte.

## 4. Magnetisches Moment und magnetische Kraft eines Magnetstabes.

Die Kraft, welche nöthig ist, eine Magnetnadel in einem bestimmten Winkelabstand von dem magnetischen Meridian festzuhalten, hängt offenbar ab von der richtenden Kraft des Erdmagnetismus H, der magnetischen Kraft m der Nadel und der Entfernung der Pole von dem Aufhängpunkt. Wenn man daher verschiedene Nadeln für denselben Beobachtungsort in die Drehwage bringt und sie durch Torsion des Fadens in der nämlichen Ablenkung erhält; so wird die Torsion dem Produkte der magnetischen Kraft der Nadel in den Abstand der Pole vom Aufhängepunkt oder dem magnetischen Momente der Nadel proportional sein. — Für die Intensität y der Stelle, welcher die Abscisse x zugehört, hat man $y = A(\lambda^x - \lambda^{21-x})$. Indem man mit Hülfe dieses Werthes die Summe aller magnetischen

Momente nimmt, ergibt sich für das magnetische Moment M der Nadel der Ausdruck:

$$M = -\frac{A}{\log\,\mathrm{hyp}\,\lambda}\left(1 + \frac{1}{\log\,\mathrm{hyp}\,\lambda}\right).$$

Folglich das Moment Q der Kraft, mit welcher die horizontale Componente H des Erdmagnetismus den Magnet in den magnetischen Meridian zu bringen strebt, wenn er um den Winkel $\gamma$ von demselben entfernt ist:

$$Q = -\frac{2\,A\,H}{\log\,\mathrm{hyp}\,\lambda}\left(1 + \frac{1}{\log\,\mathrm{hyp}\,\lambda}\right)\sin\gamma.$$

Nachstehende Tafel enthält die Resultate aus den von Coulomb zu diesem Behufe angestellten Versuchen, bei denen die Torsion des Fadens, woran der Magnet aufgehängt war, eine Ablenkung von 30° vom magnetischen Meridian bewirkt wurde.

| Länge des Magnets. | Beobachtetes Moment. | Berechnetes Moment. |
|---|---|---|
| 18 . 2,26 Centimeter | 288° | 285°,913 |
| 12 . 2,26 „ | 172° | 171°,347 |
| 9 . 2,26 „ | 115° | 114°,523 |
| 6 . 2,26 „ | 59° | 59°,905. |

Auch die Formel über die Schwingungsdauer

$$t = \pi\sqrt{\frac{K}{H\mu l}} = \pi\sqrt{\frac{\frac{1}{6g}\,b\,h\,l\,p\,(b^2+4\,l^2)}{\frac{-2\,A\,H}{l g\lambda}\left(1+\frac{1}{l g\lambda}\right)}} = c\sqrt{\frac{l\,(b^2+4\,l^2)}{1+a}},$$

wo der Kürze wegen $\pi\sqrt{\frac{\frac{b\,h\,p}{6\,g}}{\frac{-2\,A\,H}{l g\lambda}}} = c$ und $\frac{1}{l g\lambda} = a$ gesetzt ist, läßt sich mit der Erfahrung in vergleichende Zusammenstellung bringen. Zu solchen Versuchen brauchte Coulomb rechtwinklige Stahlstäbe von 6,78 Millimeter Breite und 2,26 Millimeter Dicke. Er fand die Dauer von 20 Schwingungen bei einer Länge von

| | | |
|---|---|---|
| 16.2,26 Centimeter | | 231″; |
| 12.2,26 | „ | 180″; |
| 10.2,26 | „ | 154″; |
| 8.2,26 | „ | 136″; |
| 6.2,26 | „ | 98″; |
| 4.2,26 | „ | 80″. |

Benutzt man zwei der Beobachtungen zur Bestimmung der Constanten, so erhält man

$$\frac{t^2}{t'^2} = \frac{l\,(b^2+4\,l^2)\,(l'+a)}{(l+a)\,l'\,(b^2+4\,l'^2)},$$

woraus

$$a = l\,l'\,\frac{t'^2\,(b+4\,l^2) - t^2\,(b^2+4\,l'^2)}{t^2\,l'\,(b^2+4\,l'^2) - t'^2\,l\,(b^2+4\,l^2)}.$$

Für $b = 2,26$; $l = 8.2,26$; $t = 231''$; und $l' = 6.2,26$; $t' = 180''$ entspringt $a = -3,167$. Daraus ergibt sich weiter

$$c = t\sqrt{\frac{l + a}{l(b^2 + 4l^2)}} = 5,79;$$

und

$$t = 5,79\sqrt{\frac{l(\overline{2,26}^2 + 4l^2)}{l - 3,167}}.$$

Berechnet man mittelst dieser Formel die Schwingungsdauer, so findet man folgende Resultate:

| Länge des Stabes. | Dauer von 20 Schwingungen. |
|---|---|
| 10.2,26 Centimeter | 155''; |
| 8.2,26 „ | 130''; |
| 6.2,26 „ | 107''; |
| 4.2,26 „ | 84''. |

Einige allgemeinere Resultate aus den angeführten Versuchen sind folgende. Für cylindrische Nadeln von demselben Durchmesser, aber von verschiedenen Längen, welche aus dem nämlichen Stahl verfertigt waren, nehmen die magnetischen Momente in einem rascheren Verhältnisse als die Längen der Nadeln ab. — Zwei Nadeln von derselben Länge und demselben Gewichte und aus der nämlichen Stahlplatte verfertigt, von denen die eine die Form eines Rechtecks und die andere die Form eines doppelten Pfeils hatte, wurden beide bis zum Sättigungspunkte magnetisirt. Das magnetische Moment der zweiten Nadel stellte sich ohngefähr um ein Achtel größer als das der ersten heraus. — Wurden rechteckige Nadeln von gleichen Abmessungen aus derselben Stahlplatte geschnitten, auf gleiche Weise gehärtet und magnetisirt, hierauf in größerer oder geringerer Anzahl in einerlei Sinne aufeinander gelegt und mittelst seidener Schnüre fest zusammengebunden; so nahmen die magnetischen Momente der Bündel in einem weit geringeren Verhältnisse zu als ihre Dicken. — Der magnetische Zustand der Nadeln jedes Bündels hatte sich während ihrer Vereinigung ungleich geändert. Durchgehends war das magnetische Moment eines der äußeren Stahlstreifen größer als jenes der in der Mitte liegenden Streifen.

Haben die Nadeln einerlei Länge und einerlei Durchmesser, so stehen ihre magnetischen Momente zueinander im Verhältniß der Intensität der in ihnen entwickelten magnetischen Kräfte. Die Torsionen des Aufhängefadens bei derselben Ablenkung vom magnetischen Meridian können dann als Maße für die Größe dieser Kräfte gelten. — Die magnetische Kraft gleich dicker und gleich langer Nadeln kann man auch durch die Dauer der Schwingungen bestimmen, welche sie unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus machen. Die Stärke ihres Magnetismus wird dem

Quadrat der Anzahl der Schwingungen proportional sein, welche sie in einer bestimmten Zeit vollziehen.

Um vier geradlinige Magnetstäbe hinsichtlich ihrer magnetischen Kraft zu prüfen, ließen wir eine Magnetnadel zuerst unter dem Einflusse des Erdmagnetismus, dann unter dem gleichzeitig thätigen Einflusse des in der Entfernung von 6 Centimeter befindlichen ungleichnamigen Poles jedes der vier Stäbe nacheinander schwingen. Die Stäbe waren 25 Centimeter lang, 7 Millimeter breit, 4 Millimeter dick und waren aus der nämlichen Stahlsorte verfertigt. — Unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus vollbrachte die Nadel 40 Schwingungen in 75,75 Secunden; unter dem combinirten Einflusse der Erde und des ersten Stabes brauchte sie zu derselben Anzahl von Schwingungen 29,65 Secunden; unter dem vereinigten Einflusse der Erde und des zweiten Stabes 34 Secunden; unter dem Einflusse der Erde und des dritten Stabes 35,5 Secunden; unter dem Einflusse der Erde und des vierten Stabes 42 Secunden. — Hieraus ergibt sich für die magnetische Kraft m des ersten Stabes der Werth $m = 5{,}5\,H$; für die des zweiten Stabes $m' = 3{,}9\,H$; für die des dritten Stabes $m'' = 3{,}5\,H$; für die des vierten Stabes $m''' = 2{,}2\,H$: wo H die horizontale Componente der magnetischen Erdkraft bedeutet.

Als wir die vier Stäbe in demselben Sinne aufeinandergelegt und in ein Bündel zusammengebunden hatten und die Nadel unter dem Einflusse der Erde und des Bündels schwingen ließen, fanden wir, daß die Nadel zu 40 Schwingungen 26,21 Secunden brauchte. Daraus entspringt für die magnetische Kraft s des Bündels der Werth $s = 7{,}4\,H$: es waren also hier über 50 Procent an magnetischer Kraft verloren gegangen. — Nach der Auflösung des Bündels machte die Nadel 40 Schwingungen unter dem Einflusse der Erde und des ersten Stabes in 31,9 Secunden; unter dem Einflusse der Erde und des zweiten Stabes in 40″; unter dem Einflusse der Erde und des dritten Stabes in 42″; unter dem Einflusse der Erde und des vierten Stabes in 60 Secunden. — Zu ähnlichen Resultaten wurden wir geführt, wenn wir die Stäbe selbst einzeln oder aufeinander gelegt unter dem alleinigen Einflusse der magnetischen Kraft der Erde schwingen ließen; deßgleichen wenn wir die Stäbe mittelst der Drehwage in Betreff ihres Magnetismus der Prüfung unterzogen. Wir übergehen hier alle diese Einzelnheiten, da sie nur als Wiederholungen des früher Gesagten gelten können.

Einige allgemeinere Ergebnisse aus dergleichen Versuchen sind folgende. Für Stahlstäbe, die gleich gehärtet und bis zur Sättigung magnetisirt waren, nahm die Stärke des Magnetismus bei derselben Breite der Stäbe mit der Länge proportional zu. — Für dergleichen Stäbe nahm der Magnetismus bei gleicher Länge mit der Breite etwas ab. — Dünne

Nadeln sind eines stärkeren Magnetismus fähig als dickere, bei Gleichheit aller übrigen Umstände. Es ist daher vortheilhaft, Nadeln von geringer Dicke anzuwenden; doch darf man sie nicht so dünn machen, daß sie sich krümmen. — Sollen Magnetnadeln die gewünschte Genauigkeit gewähren, so muß man dafür Sorge tragen, daß sie zu beiden Seiten ihrer Mitte eine symmetrische Vertheilung des Magnetismus besitzen.

## III. Vom Erdmagnetismus.

### 1. Bestimmung der Declination.

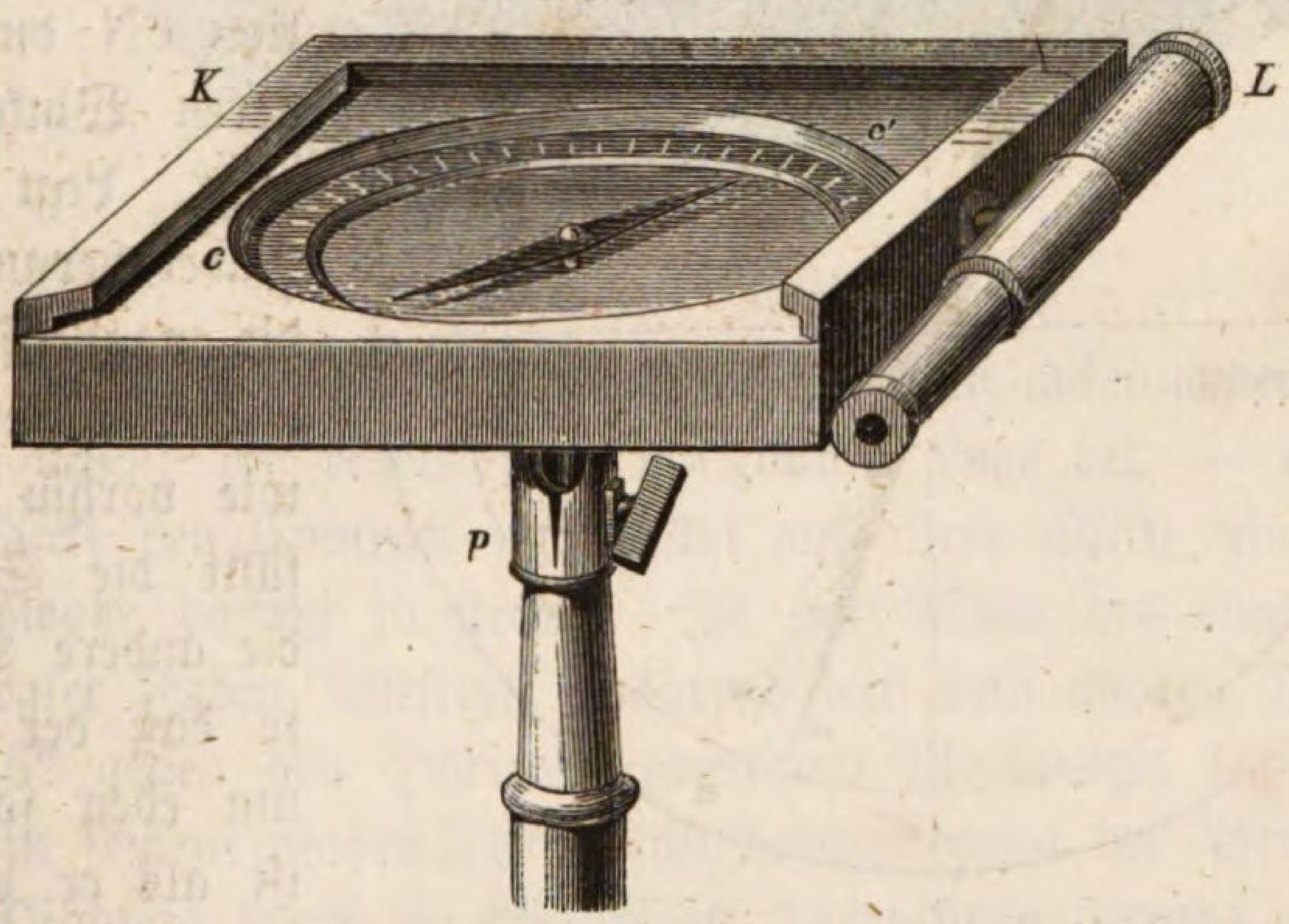
Gleich im Anfange bei der Besprechung der magnetischen Erscheinungen fanden wir uns veranlaßt, eine in unserer Erde selbst vorhandene magnetische Thätigkeit anzunehmen. Diese aus dem Inneren der Erde hervorgehende magnetische Thätigkeit nannten wir Erdmagnetismus, wobei wir es vor der Hand dahin gestellt sein ließen, ob dieser Erdmagnetismus die Wirkung eines einzigen in der Erde enthaltenen Magnets oder die Mittelkraft der vielen in ihr vorkommenden magnetischen Theile ist, ob diese magnetische Kraft der Erde zu allen Zeiten den nämlichen Werth hat oder mit der Zeit sich ändert. Unsere Kenntniß der magnetischen Beschaffenheit des Erdkörpers bezieht sich lediglich auf die Angabe der Richtung und Größe der erdmagnetischen Kraft an einem gegebenen Ort desselben.

Zur Bestimmung der Declination bedient man sich am besten des von Gauß angegebenen **Magnetometers**, dessen Einrichtung wir schon an einer früheren Stelle mitgetheilt haben. Der Apparat besteht aus einem 2 bis 12 Kilogramm schweren parallelepipedischen Magnetstabe, der mittelst eines feinen Metalldrahts oder mittelst eines Bündels ungedrehter Seidenfäden an der Decke des Beobachtungslocals aufgehängt ist. Um den Einfluß der Luftströmungen unschädlich zu machen, befindet sich der Magnetstab in einem Kasten, durch dessen Decke der Aufhängungsfaden geht und der an der Stelle der Seitenwand, welche dem Spiegel gegenüber steht, eine Oeffnung hat, um durch dieselbe nach dem Spiegel hinsehen zu können. Dem Spiegel gegenüber, etwa in einer Entfernung von 4 Meter, ist der Theodolith aufgestellt, dessen Fernrohr die Achse im magnetischen Meridian hat. Durch das Fernrohr kann man leicht im Spiegel den Scalentheil wahrnehmen, welcher im Fadenkreuze des Fernrohrs erscheint. — Zur Bestimmung der Declination ist es nöthig, einen verticalen Strich (eine Mire) zu haben, dessen Winkelabstand von dem geographischen Meridian bekannt ist. Auch ist es nothwendig, alle störende Einflüsse zu beseitigen, weßhalb das magnetische Observatorium ganz eisenfrei sein muß. Zu dem Gebrauche des Apparates ist noch eine gute Uhr erforderlich. Der Magnetstab ist in beständigen Schwankungen begriffen,

was die genaue Bestimmung der magnetischen Abweichung erschwert. Man nimmt daher als Lage des magnetischen Meridians das arithmetische Mittel aus zwei Stellungen des Stabes an, die zweien genau um eine Schwingungsdauer von einander abstehenden Augenblicken entsprechen. Ist mithin t die Schwingungsdauer des Stabes, und sind n und n′ die Scalentheile, welche am Ende der Zeiten $T - \frac{1}{2}t$ und $T + \frac{1}{2}t$ vom Ocularfaden gedeckt werden; so ist $\frac{n + n'}{2}$ der Scalentheil, welcher der Lage des magnetischen Meridians für das Ende der Zeit T entspricht. — Es geben also die für eine Reihe von Zeiten T, T′ .... gefundene Resultate die diesen Zeiten zugehörigen Lagen des magnetischen Meridians an, mithin auch die successiven Veränderungen der Declination.

Zur Bestimmung der Declination bedient man sich auch der sogenannten Declinationsbussole, welche in Figur 34 abgebildet ist. Sie

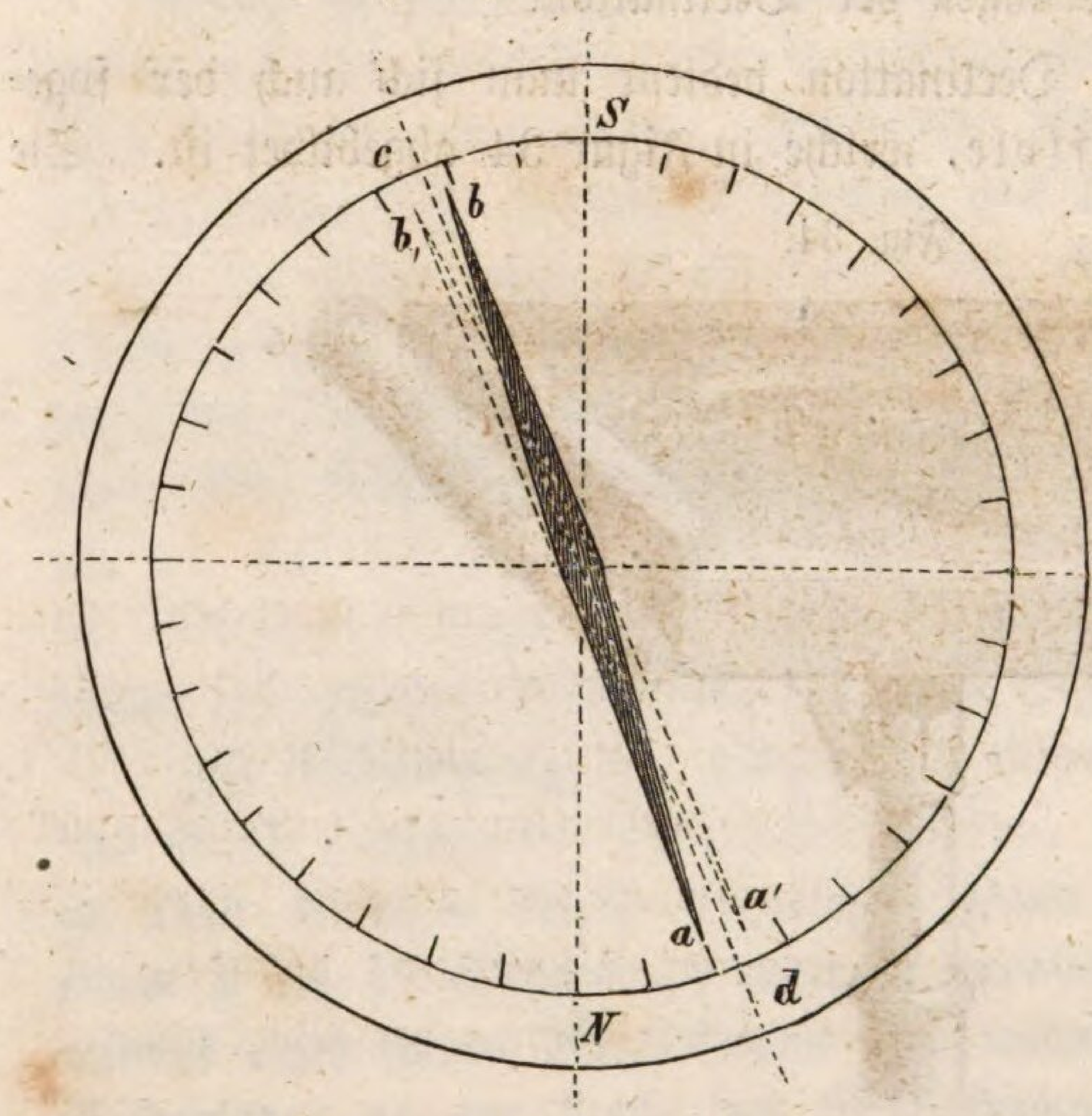
Fig. 34.




besteht aus einem flachen, oben mit einer Glasplatte verschlossenen Messinggehäus K, welches im Innern eine leicht bewegliche Magnetnadel enthält; dann aus einem graduirten Horizontalkreise CC′; endlich aus einem in einer verticalen Ebene drehbaren Fernrohre L. Das Ganze ruht auf dem Fuße P und kann auf demselben in horizontaler Richtung hin und her gedreht werden. Will man die Declination eines Ortes bestimmen, so stellt man zuerst den Horizontalkreis genau horizontal, dreht hierauf das Messinggehäus so lange in horizontaler Richtung, bis das Fernrohr genau im geographischen Meridian steht. Bei dem parallel zu der Drehungsebene des Fernrohrs liegenden Durchmesser des Horizontalkreises beginnt der Nullpunkt der Theilung; man braucht daher auf dem getheilten Kreise blos den Winkel abzulesen, welchen die Magnetnadel mit jenem Durchmesser einschließt, um die Declination des Ortes dem Werthe und dem Sinne nach zu erhalten. — Soll die auf diese Weise gewonnene Bestimmung der

Declination genau sein, so muß die magnetische Achse, d. h. die durch die beiden Pole gehende Gerade, mit der geometrischen Achse, d. h. mit der die beiden Spitzen der Nadel verbindenden Geraden vollständig zusammenfallen, was in der Wirklichkeit nicht stattfindet. Der aus dieser Quelle entstehende Fehler wird durch die Methode des Umlegens corrigirt. Man legt nämlich die Magnetnadel blos auf das Hütchen, kehrt sie dann um, so daß die vorher untere Seite zur oberen wird; beobachtet dann auf dem Horizontalkreise die beiden Punkte, auf denen die Nadel in den zwei verschiedenen Lagen stehen geblieben ist: der zwischen ihnen in der Mitte liegende Punkt zeigt die richtige Declination der Nadel an. — Denn stellt

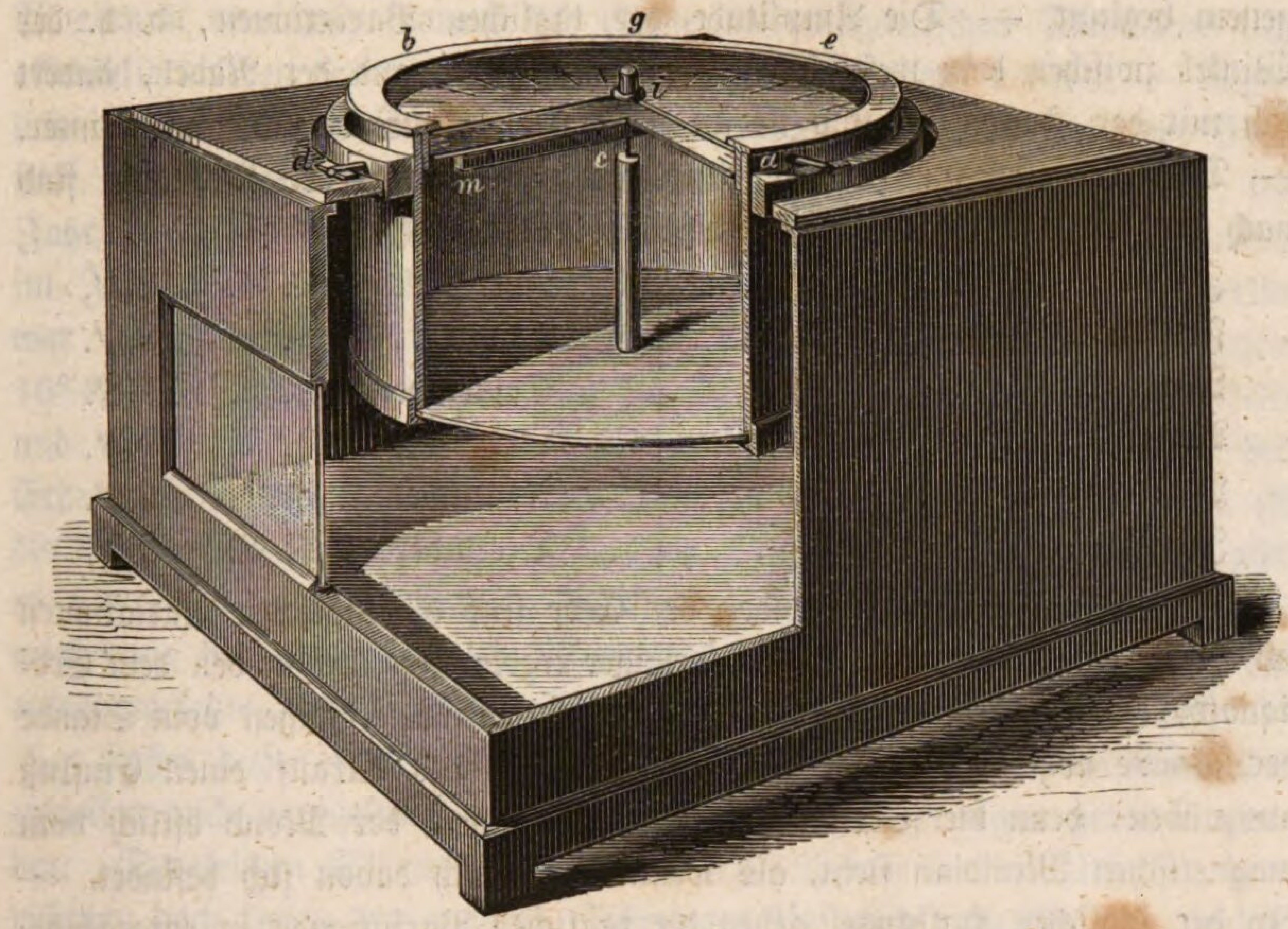
Fig. 35.




ab (Fig. 35) die Lage der Magnetnadel dar, deren magnetische Achse in die Linie cd fällt, so wird die wahre Declination cN durch den kleineren Winkel aN angezeigt. Legt man jetzt die Nadel herum, so nimmt die magnetische Achse cd wieder dieselbe Richtung wie vorhin an, dagegen fällt die Spitze a' auf die andere Seite von c, so daß der Winkel a'N um eben so viel größer ist als er vorhin kleiner war wie die wahre Declination cN: diese wird daher dem Mittelwerthe aus den beiden Ablesungen bei a und a' gleich sein.

Der Schiffscompaß ist nichts anders als eine Declinationsnadel, welche so aufgehangen ist, daß sie bei allen Schwankungen des Schiffes stets ihre horizontale Lage behält. Die Nadel m (Fig. 36) ist leicht beweglich auf der Spitze c aufgehängt und trägt auf ihrer oberen Fläche ein dünnes Blatt Papier, auf welchem die sogenannte Windrose verzeichnet ist. Die Windrose ist ein Kreis, dessen Mittelpunkt in der durch die Spitze gehenden Verticale liegt und dessen Umfang in 32 Abtheilungen getheilt ist, welche bei den Schiffern Rhomben oder Compaßstriche heißen. Der Compaß hängt zwischen zwei beweglichen concentrischen Ringen, deren einer mit der Achse de auf dem Rande eines als Unterlage dienenden Kastens ruht, der andere mit der auf de rechtwinkligen Achse ab auf

Fig. 36.




dem ersteren Ringe aufliegt. Vermöge dieser beiden aufeinander senkrechten Bewegungen behält die Nadel ihre horizontale Lage bei. — Eine Glasscheibe g bedeckt den Compaß und trägt auf ihrer Mitte einen Stift i, um eine Alhidade darauf zu stecken. In der Mitte des einen Diopters ist ein verticaler Faden befestigt, während vor dem andern Diopter sich ein unter 45° gegen den Horizont geneigter Planspiegel befindet. Der Spiegel ist in seinem oberen Theil nicht belegt, damit der Beobachter den Faden des Diopters durch die Glasplatte anzuvisiren vermag. — Mittelst der beiden Diopter visirt man nun auf einen Gegenstand und sieht zu gleicher Zeit durch Reflexion auf dem untern Theil des Spiegels die Nadel in ihrer natürlichen Stellung. Auf diese Weise erhält man den Winkel, welchen der magnetische Meridian mit der Verticalebene des Objects einschließt. Um daraus die Declination abzuleiten, braucht man nur den Winkel zu bestimmen, welchen die letztere Ebene mit dem geographischen Meridian des Ortes macht.

Die Declination der Magnetnadel erleidet eine tägliche Aenderung, die sich mit großer Regelmäßigkeit wiederholt. Der Gang dieser täglichen Variationen ist in Europa ohngefähr folgender. — Mit Sonnenaufgang bewegt sich das Nordende der Nadel nach Westen und erreicht gegen zwei Uhr Nachmittags seinen westlichsten Stand. Hierauf geht die Nadel nach Osten zurück bis 10 Uhr Abends, von welcher Zeit an die Nadel fast

stationär bleibt bis zum andern Morgen und dann ihre Bewegung von neuem beginnt. — Die Amplitude der täglichen Variationen, d. h. der Winkel zwischen dem westlichsten und östlichsten Stand der Nadel, ändert sich mit der Jahreszeit und ist im Sommer bedeutender als im Winter. — Die Mittelwerthe für die Amplitude in verschiedenen Monaten sind nach den Beobachtungen in Göttingen folgende:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Januar . . . . | 6,7′. | Juli . . . . . | 12,1′. |
| Februar . . . . | 7,4′. | August . . . . | 13,0′. |
| März . . . . | 11,9′. | September . . . | 11,8′. |
| April . . . . | 13,9′. | October . . . . | 10,3′. |
| Mai . . . . . | 13,5′. | November . . . | 6,9′. |
| Juni . . . . . | 12,5′. | December . . . | 5,0′. |

In den nördlichen Gegenden der Erde sind die täglichen Variationen im Allgemeinen bedeutender, aber weniger regelmäßig als in den dem Erdäquator näher gelegenen Orten. — Die Variationen hängen vom Stande der Sonne ab; doch scheint auch der Mondesstand darauf einen Einfluß auszuüben: denn die Declination ist größer, wenn der Mond östlich vom magnetischen Meridian steht, als wenn er westlich davon sich befindet. — In der südlichen Halbkugel gehen die täglichen Variationen in entgegengesetzter Richtung vor sich. Das Südende der Nadel bewegt sich daselbst nach Osten, wenn das Nordende der Nadel eine östliche Bewegung auf der nördlichen Halbkugel hat; und wenn hier das Nordende der Nadel sich nach Westen bewegt, geht das Südende der Nadel auf der südlichen Hemisphäre nach dieser Richtung.

Abgesehen von den täglichen Variationen unterliegt die Declination aber auch an längere Perioden gebundenen Veränderungen, welche seculäre Variationen heißen zum Unterschiede von den täglichen. Nachstehende Tabelle gibt die Declination an, wie sie zu verschiedenen Zeiten in Paris beobachtet wurde.

| Jahr. | Declination. | | Jahr. | Declination. | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1580 | 11° 30′ | östlich | 1816 | 22° 15′ | westlich |
| 1618 | 8° | „ | 1823 | 22° 23′ | „ |
| 1663 | 0° | „ | 1825 | 22° 22′ | „ |
| 1700 | 8° 10′ | westlich | 1828 | 22° 5′ | „ |
| 1780 | 19° 55′ | „ | 1832 | 22° 3′ | „ |
| 1805 | 22° 5′ | „ | 1835 | 22° 4′ | „ |
| 1812 | 22° 28′ | „ | 1849 | 20° 34′ | „ |
| 1814 | 22° 34′ | „ | 1851 | 20° 25′ | „ |

Die Declination zu Paris war im Jahre 1580 östlich; von dieser Zeit nahm sie ab und wurde im Jahre 1663 Null; dann ward die Declination westlich und wuchs in diesem Sinne bis zum Jahre 1814, wo sie ihr

Maximum erreichte; worauf die Ebene des magnetischen Meridians sich allmählig wieder der Ebene des terrestrischen Meridians näherte. — Aehnliche Schwankungen finden mehr oder weniger für jeden Ort der Erde statt. In Göttingen betrug im Jahr 1835 die Declination 18° 59′; im Jahr 1840 war sie 18° 9′. — In Brüssel belief sich die Declination im Jahr 1827 auf 22° 28′; im Jahr 1836 auf 22° 7′. — In Berlin war im Jahr 1825 die Declination 17° 40′, im Jahr 1836 dagegen 16° 43′. — In Petersburg betrug die Declination 18° 37′ im Jahr 1836 und 6° 21′ im Jahr 1842. — Beim Uebergange von einem Orte der Erde zum andern ändert sich die Abweichung merklich. In Europa ist die Abweichung jetzt westlich; an andern Orten ist sie östlich; endlich gibt es Orte, wo keine Abweichung stattfindet. — Wann in Europa die Verminderung der Bewegung der Magnetnadel nach Westen aufhören und die entgegengesetzte Richtung nach Osten einschlagen wird, wissen wir nicht.

Außer diesen regelmäßigen Variationen erleidet die Declinationsnadel zuweilen auch unregelmäßige Variationen, welche Störungen genannt werden. Dergleichen Störungen mögen zum Theil von localen Ursachen herrühren; doch liegen den meisten Störungen Ursachen zum Grunde, welche einen großen Theil der Erdfläche afficiren. Die wichtigsten dieser störenden Ursachen sind heftige Gewitter, vulcanische Eruptionen, Erdbeben und besonders das Polarlicht, dessen Erscheinung selbst in entfernten Gegenden durch plötzliche und schnelle Schwankungen der Magnetnadel angezeigt wird. — Das **Polarlicht** ist eine in den Polargegenden vorkommende eigenthümliche Lichterscheinung; es wird Nordlicht oder Südlicht genannt, je nachdem das Phänomen an dem Nordpol oder an dem Südpol entsteht. Gegen den Pol hin sieht man anfänglich einen mehr oder weniger dunklen Nebel in der Gestalt eines Kreissegments, welches von einem lebhaften, zuerst weißen, dann bläulich leuchtenden Lichtbogen gesäumt ist, dessen höchster Punkt nahe am magnetischen Meridian sich befindet. Der Lichtbogen ist in beständiger Bewegung, er senkt und hebt sich, dehnt sich nach Ost und West aus, und erleidet merkliche Aenderungen in seiner Gestalt. Nach einigen Stunden erhebt sich aus dem Lichtbogen eine Lichtsäule, die sich oben in mehrere Strahlen zertheilt; sie ist öfters mit schwarzen Strahlen gemengt, verlängert und verkürzt sich und verschwindet nach einigen Minuten, um einer andern Platz zu machen. Oefters erheben sich gleichzeitig mehrere Lichtsäulen, endlich aus allen Stellen des Lichtbogens, so daß der ganze nördliche Himmel wie von zuckenden Flammen erfüllt ist, die alle Farben annehmen. Während der Beobachter überall Bewegung und Wechsel der Erscheinungen wahrnimmt, sieht er an der Stelle, in welcher die Verlängerung der Inclinationsnadel das Himmelsgewölbe trifft, keine Bewegung, keine Aenderung, sondern fortdauernd

Ruhe. Der Himmel erhält das Ansehen einer großen leuchtenden Kuppel, deren in Ruhe befindlicher Gipfel die Krone genannt wird. — Selten bildet sich das Polarlicht zur Krone aus; ist aber diese entstanden, so hat das Phänomen seine höchste Stufe erreicht, das Strahlenschießen wird schwächer, die Feuersäulen erscheinen kürzer, verlieren an Glanz; die ganze Erscheinung wird immer blasser oder verschwindet plötzlich.

Viele Polarlichter hat man gleichzeitig in sehr weit von einander entfernten Orten gesehen. Im Jahr 1831 sah man ein Nordlicht im nördlichen und mittleren Europa, aber auch in Nordamerika. Nordlichter werden zuweilen in der südlichen Hemisphäre und Südlichter in England wahrgenommen. — Arago hat nachgewiesen, daß Nordlicht und Südlicht gleichzeitig stattfanden. — Die Nordlichter scheinen häufiger zu sein als die Südlichter, was wohl daher kommt, daß wir öfter Gelegenheit haben, die ersteren zu beobachten. — Im Herbste und im Winter werden die Polarlichter häufiger gesehen als in anderen Jahreszeiten, was wohl dem zu jener Zeit weniger intensiv sich äußernden Tageslichte zuzuschreiben ist. In Grönland hat man während eines Zeitraumes von 200 Tagen 150 Nordlichter beobachtet; es scheint daher, daß an den Polen jede Nacht Polarlichter stattfinden.

Das Polarlicht ist eine Erscheinung, welche innerhalb unserer Atmosphäre ihren Sitz hat. Denn das Meteor verhält sich gegen das Himmelsgewölbe wie ein irdischer Gegenstand; es erscheint unbeweglich oder zeigt gleich den Wolken nur zufällige Bewegungen. — Hätte es dagegen seinen Sitz außerhalb unserer Atmosphäre, so müßte es an der scheinbaren täglichen Umdrehung der Erde Theil nehmen; es müßten sich mithin die Bogen, Strahlen wie die Sterne von Osten nach Westen fortzubewegen scheinen, was entschieden nicht der Fall ist. — Ueber die wahre Höhe des Meteors über der Oberfläche der Erde läßt sich nichts Bestimmtes angeben. Die abweichenden Angaben über die Höhe des Polarlichtes mögen ihren Grund vielleicht darin haben, daß es sich in sehr verschiedenen Höhen bildet. Eine noch größere Ungewißheit herrscht über die Länge der meteorischen Säulen, welche man durch Winkelmessungen zu bestimmen versucht hat.

Manche Beobachter wollen während des Polarlichtes ein eigenthümliches Geräusch vernommen haben; eine Art Zischen und Brausen, wie es bei einem Feuerwerk vorkommt. — Die Jäger, welche an der Küste des Eismeeres von dem Nordlichte überfallen wurden, sagen aus, daß ihre Hunde von dem Geräusch dermaßen erschreckt würden, daß sie nicht von der Stelle zu bewegen wären, bis das Geräusch vorüber sei. — Dagegen haben andere Beobachter nie ein Geräusch bei einem Nordlichte vernommen. Hieraus scheint hervorzugehen, daß das Phänomen nicht immer

von einem Geräusch begleitet sei, sondern dieser Fall nur dann eintrete, wenn die leuchtenden Strahlen in großer Anzahl vorhanden sind, sich schnell bewegen und durchkreuzen. — Möglich auch, daß das Meteor erst hörbar wird, wenn es bis zur gehörigen Tiefe herabgekommen ist.

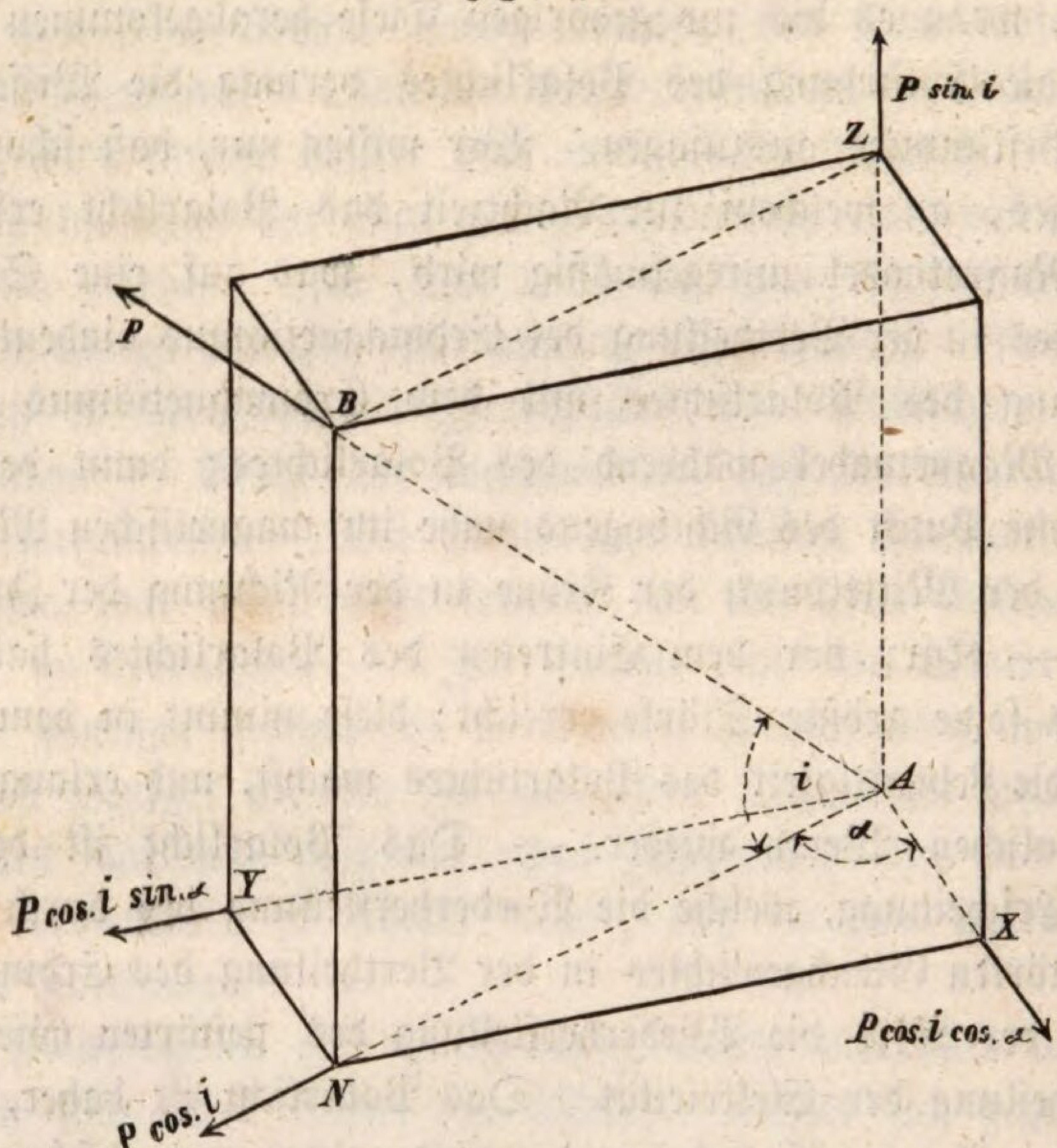
Ueber die Entstehung des Polarlichtes vermag die Wissenschaft bis jetzt nichts Bestimmtes auszusagen. Wir wissen nur, daß schon am Morgen des Tages, an welchem zur Nachtzeit das Polarlicht erscheint, der Gang der Magnetnadel unregelmäßig wird, was auf eine Störung des Gleichgewichtes in der Vertheilung des Erdmagnetismus hindeutet. — Den Zusammenhang des Polarlichtes mit dem Erdmagnetismus beweist die Unruhe der Magnetnadel während des Polarlichtes; dann der Umstand, daß der höchste Punkt des Lichtbogens nahe im magnetischen Meridian sich befindet und der Mittelpunkt der Krone in der Richtung der Inclinationsnadel liegt. — Kurz vor dem Eintreten des Polarlichtes hat der Erdmagnetismus seine größte Stärke erreicht; diese nimmt in dem Maße ab, in welchem die Lebhaftigkeit des Polarlichtes wächst, und erlangt allmählig ihren gewöhnlichen Werth wieder. — Das Polarlicht ist demnach eine magnetische Erscheinung, welche die Wiederherstellung des durch unbekannte Ursachen gestörten Gleichgewichtes in der Vertheilung des Erdmagnetismus begleitet wie der Blitz die Wiederherstellung des gestörten Gleichgewichtes in der Vertheilung der Elektricität. Das Polarlicht ist daher, wie Humboldt sagt, der Act der Entladung, das Ende eines magnetischen Gewitters.

## 2. Bestimmung der Inclination und deren Variationen.

Die Inclination wird mit Hülfe der Inclinationsbussole bestimmt, deren Einrichtung wir oben angegeben haben. Bei dieser Bestimmung kommen jedoch zwei Fehlerquellen vor, welche corrigirt werden müssen, wenn es sich um eine größere Genauigkeit handelt. — Einmal fällt die magnetische Achse nicht genau mit der geometrischen Achse der Nadel zusammen. Diesen Fehler verbessert man durch Umlegung der Nadel, wie es bei der Bestimmung der Declination geschieht. — Dann hält es sehr schwer, einen Magnet genau in seinem Schwerpunkt zu unterstützen und um eine horizontale Achse sehr beweglich zu machen. Die Inclination wird daher zu groß oder zu klein ausfallen, je nachdem der Schwerpunkt mehr nördlich oder südlich von dem Aufhängepunkt zu liegen kommt. — Den zweiten Fehler verbessert man dadurch, daß man die Inclination noch einmal aber bei Umkehrung der Pole der Nadel bestimmt. Der Einfluß des Schwerpunktes ist in dem einen Falle gerade der umgekehrte von dem im zweiten: wenn man daher den Mittelwerth aus den beiden beobachteten Ständen nimmt, erhält man ein von der Einwirkung der Schwere befreites Resultat.

Zu einer andern Methode für die Bestimmung der Inclination wird folgende Betrachtung führen. Es sei AB (Fig. 37) die Richtung der

Fig. 37.




Inclinationsnadel an einem beliebigen Orte; die Verticalebene ZAN ist der magnetische Meridian desselben und der Winkel BAN der Inclinationswinkel, der durch i dargestellt werden mag. Die magnetische Kraft P an jenem Orte läßt sich in eine verticale Componente P sin i und zwei horizontale Componenten $H = P \cos i \cos \alpha$ und $H' = P \cos i \sin \alpha$ zerlegen, wo $\alpha$ den Winkel bezeichnet, welchen die Ebene ZX mit dem magnetischen Meridian einschließt. — Fällt der vertical getheilte Kreis der Inclinationsbussole mit der Ebene ZX zusammen, so ergibt sich für die Inclination i' der Nadel in jener Lage der Ausdruck: $\tang i' = \frac{\sin i}{\cos i \cos \alpha} = \frac{\tang i}{\cos \alpha}$.
Für $\alpha = 0$ wird diese Inclination ein Minimum und gleich der wahren. Man erhält daher die gesuchte Inclination, wenn man den vertical getheilten Kreis der Inclinationsbussole über der Ebene des horizontal liegenden Kreises sich bewegen läßt und die kleinste Inclination sich bemerkt, welche die Nadel bei jener Bewegung annimmt. — Bezeichnen i', i'' die Inclinationswinkel der Nadel bei zwei aufeinander senkrecht stehenden Lagen des Verticalkreises, so hat man die beiden Formeln:

$$\tang i' = \frac{\tang i}{\cos \alpha} \text{ und } \tang i'' = \frac{\tang i}{\sin \alpha};$$

aus denen entspringt:

$$\frac{1}{\tan^2 i} = \frac{1}{\tan^2 i'} + \frac{1}{\tan^2 i''}.$$

Hat man mithin für zwei aufeinander senkrechte, wie immer gegen den magnetischen Meridian gelegenen Ebenen die zwei besonderen Inclinationswinkel $i'$ und $i''$ beobachtet; so kann man die gesuchte Inclination vermittelst der oben stehenden Formel aus der doppelten Beobachtung herleiten.

Die Inclination kann auch durch Schwingungsversuche ausgemittelt werden. Die in der Ebene des magnetischen Meridians oscillirende Inclinationsnadel wird durch die totale magnetische Erdkraft $P$ bewegt; dagegen wird die in einer auf dem Meridian senkrecht schwingende Inclinationsnadel blos durch den vertical wirkenden Theil $P \sin i$ derselben in Bewegung gesetzt. Macht daher die Nadel im magnetischen Meridian in einer bestimmten Zeit $n$ Schwingungen und in einer darauf senkrechten Ebene hingegen in derselben Zeit $n'$ Schwingungen, so hat man $n^2 : n'^2 = P : P \sin i$, woraus $\sin i = \frac{n'^2}{n^2}$. — Die Declinationsnadel wird nur von der horizontalen Componente $P \cos i$ des Erdmagnetismus und die in einer verticalen auf dem magnetischen Meridian senkrechten Ebene schwingende Inclinationsnadel nur von der verticalen Componente sollicitirt. Macht demnach die Declinationsnadel $n''$ Schwingungen in einer gegebenen Zeit und die Inclinationsnadel $n'$ Schwingungen in der nämlichen Zeit, so hat man $n'^2 : n''^2 = P \sin i : P \cos i$, woraus entspringt: $\tan i = \frac{n'^2}{n''^2}$.

Ein sehr sinnreiches Verfahren zur Ermittelung der Inclination hat Lloyd angegeben. Oestlich oder westlich von einer kleinen Bussole ist ein runder Eisenstab von 25 Centimeter Länge und 20 Millim. im Durchmesser angebracht. Mit der Ebene des magnetischen Meridians der Nadel läuft parallel die Verticalebene des Stabes, der sich um eine zu seiner Länge und zugleich auf dem magnetischen Meridian senkrecht stehende Achse drehen läßt, welche die Länge der Nadel halbirt. Diese Drehungsachse des Stabes befindet sich an dem einen Endpunkte desselben, so daß bei einer Drehung um diese Achse der magnetische Pol des Stabes beständig auf der Achsenlinie verbleibt, welche in die Horizontalebene der Nadel fällt. — Hat nun der Eisenstab eine verticale Stellung, so wird er unter dem Einflusse der verticalen Componente des Erdmagnetismus magnetisch. Die Stärke dieser Kraft wird der verticalen Componente des Erdmagnetismus proportional oder gleich $k P \sin i$ sein, wo $P$ den Erdmagnetismus, $i$ die magnetische Neigung und $k$ eine beständige aber unbekannte Größe bezeichnet. Unter der Einwirkung der horizontalen Componente $P \cos i$ des Erdmagnetismus und der in dem Stabe hervorgerufenen magnetischen Kraft $k P \sin i$ wird die Nadel um den Winkel $\alpha$ abgelenkt, so daß $\tan \alpha = \frac{k P \sin i}{P \cos i} = k \tan i$. — Wird nun der Eisen-

stab in die horizontale Lage gebracht, so wird er jetzt durch die horizontale Componente $P \cos i$ des Erdmagnetismus magnetisch und erhält eine magnetische Kraft von dem Betrage $k P \cos i$, wo $k$ die nämliche unbekannte Größe wie oben darstellt. Wird die Nadel unter dem Einflusse dieser beiden Kräfte um den Winkel $\beta$ abgelenkt, so hat man die Relation: $\frac{k P \cos i}{P \cos i} = \operatorname{tang} \beta$, durch deren Combination mit der vorhergehenden sich ergibt: $\operatorname{tang} i = \frac{\operatorname{tang} \alpha}{\operatorname{tang} \beta}$.

Die Inclination ist wie die Declination täglichen Schwankungen unterworfen, die jedoch weniger bedeutend und auffallend sind als jene der Declination. Die Neigung hat ihr Maximum um zehn Uhr Morgens und ihr Minimum um zehn Uhr Abends. — Die tägliche Variation im Sommer übersteigt die im Winter, zu welcher Zeit sie fast ganz verschwindet. Die Neigung ändert sich plötzlich beim Erscheinen eines Nordlichtes; eine solche schnelle Aenderung übertrifft weit die tägliche Variation, welche letztere sich höchstens auf 4 bis 6 Minuten beläuft. — Die Neigung ändert sich mit der Breite des Ortes. In Paris beträgt sie $66\frac{1}{2}$ Grad; unter 15° Breite ist sie nur noch 50°, in der Nähe des Aequators ist sie Null. Im Jahr 1830 fand Kapitain John Roß einen Punkt, wo die Bussole sich genau vertical stellte. Der auf der nördlichen Halbkugel der Erde befindliche magnetische Pol lag damals unter 70° 5′ nördlicher Breite und unter 79° 53′ westlicher Länge von Ferro. Nach den von Kapitain James Roß gemachten Beobachtungen glaubt man annehmen zu dürfen, daß die Lage des magnetischen Südpols im Jahr 1840 unter $75\frac{1}{2}$° südlicher Breite und ohngefähr 169° östlicher Länge von Ferro gewesen ist.

Die Inclination ist ebenfalls seculären Variationen unterworfen. Wie sie sich im Laufe der Jahrhunderte in Paris geändert hat, zeigt nachstehende Tabelle:

| Jahr. | Inclination. | Jahr. | Inclination. |
|---|---|---|---|
| 1671 | 75° | 1820 | 68° 20′ |
| 1754 | 72° 15′ | 1822 | 68° 11′ |
| 1780 | 71° 48′ | 1825 | 68° 0′ |
| 1798 | 69° 51′ | 1829 | 67° 41′ |
| 1810 | 68° 50′ | 1831 | 67° 40′ |
| 1814 | 68° 40′ | 1835 | 67° 24′ |
| 1818 | 68° 35′ | 1851 | 66° 35′ |
| 1819 | 68° 25′ | 1853 | 66° 28′. |

Die Inclination ist demnach in Paris seit dem Jahre 1671 in fortwährender Abnahme begriffen. Welches in Zukunft der Gang der Neigungsnadel sein wird, wissen wir nicht. — Aehnliche Abnahmen finden auch an

anderen Orten statt. In Göttingen war die Inclination im Jahr 1832 im Mittel 68° 23′; im Jahr 1845 aber 67° 32′. In Brüssel betrug im Jahr 1827 die Inclination 68° 56′, im Jahr 1836 dagegen 68° 32′. In Berlin belief sich im Jahr 1812 die Inclination auf 69° 16′, im Jahr 1826 auf 68° 42′. In Petersburg war im Jahr 1778 die Inclination 72° 36′, im Jahr 1842 dagegen 71°. — Auf der südlichen Hemisphäre der Erde nimmt die südliche Neigung ab, so daß es den Anschein hat, als correspondirten daselbst die Variationen der südlichen Neigung der Nadel den Variationen der nördlichen Neigung der Nadel auf der nördlichen Halbkugel der Erde.

### 3. Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus und deren Variationen. — Bestimmung des Erdmagnetismus nach absolutem Maße. — Bifiliarmagnetometer.

Will man das Verhältniß der magnetischen Erdkräfte an zwei verschiedenen Orten bestimmen, so läßt man vorerst eine Inclinationsnadel an einem Orte im magnetischen Meridian schwingen; bringt dann die Nadel an den andern Ort und versetzt sie abermals auf ähnliche Weise in Schwingungen. Es werden die Intensitäten der magnetischen Kräfte an den beiden Orten sich verhalten wie die Quadrate der Zahlen der Schwingungen, welche die Nadel daselbst in gleichen Zeiträumen macht. — Es ist vortheilhafter statt der Inclinationsnadel die Declinationsnadel anzuwenden, weil bei der letzteren eine genauere Bestimmung der Schwingungen möglich ist. Die horizontale Componente der erdmagnetischen Kraft kommt hier allein zur Wirkung. Bezeichnet daher für den einen Ort P die Intensität der erdmagnetischen Kraft, i die Inclination und n die Zahl der Schwingungen binnen einer bestimmten Zeit, während für den andern Ort diese Größen bezüglich die Werthe P′, i′ und n′ haben; so hat man $\frac{P}{P'} = \frac{n^2 \cos i'}{n'^2 \cos i}$. Wenn demnach Inclinationen und Schwingungszahlen bestimmt sind, so ergibt sich aus vorstehender Gleichung das Verhältniß der erdmagnetischen Kräfte an den beiden Orten. — Die eine wie die andere Methode setzt jedoch voraus, daß der Magnetismus der Nadel während einer längeren Zeit sich nicht ändert, worüber man nicht ganz sicher sein kann.

Mittelst der Methode der Schwingungen hat man gefunden, daß die magnetische Intensität einer täglichen Veränderung unterworfen ist. Das Minimum der Intensität tritt ein zwischen zehn Uhr und elf Uhr Morgens, das Maximum zwischen vier und fünf Uhr Abends. Die mittlere Intensität zur Zeit des Winters übersteigt die mittlere Intensität im Sommer. Nach den mit großer Sorgfalt von Arago angestellten Versuchen zu

schließen, scheint die Aenderung der Intensität von der Aenderung der Neigung abzuhängen.

Einige von seinen Morgens zwischen acht und neun Uhr und des Abends zwischen sechs und sieben Uhr zu Paris gemachten Beobachtungen finden sich hier unten zusammengestellt:

Mittlere Dauer von 300 Schwingungen am Morgen:

Im Jahr 1827: 11 Minuten 49,95 Secunden.

Im Jahr 1829: 11 „ 48,49 „

Mittlere Dauer von 300 Schwingungen am Abend:

Im Jahr 1827: 11 Minuten 49,41 Secunden.

Im Jahr 1829: 11 „ 47,84 „

Man erkennt daraus, daß die horizontale Componente des Erdmagnetismus zu Paris am Morgen kleiner ist als am Abend; dann sieht man, daß diese Componente von einem Jahre zum andern zunimmt.

Mittlere Neigungen am Morgen gemessen:

Im Jahr 1827: 68° 36′,38. Im Jahr 1829: 68° 24′,58.

Mittlere Neigungen am Abend gemessen:

Im Jahr 1827: 68° 34′,7. Im Jahr 1829: 68° 21′,67.

Man sieht hieraus, daß die Neigung am Abend ohngefähr 2 Minuten geringer ist als am Morgen; weiter erkennt man, daß die Neigung von einem Jahre zum andern sich ändert.

Die magnetische Intensität des Erdmagnetismus ändert sich von einem Orte zum andern und scheint ebenfalls von der Neigung abzuhängen. Setzt man die magnetische Intensität unter dem Aequator, d. h. an dem Orte wo die Neigung Null ist, gleich Eins; so dürfte nach den bis jetzt vorliegenden Beobachtungen zu schließen, das Gesetz der Aenderung der magnetischen Intensität nach der Neigung folgendes sein:

| Neigungen. | Intensitäten. | Neigungen. | Intensitäten. |
|---|---|---|---|
| 0° | 1,0 | 73° | 1,4 |
| 24° | 1,1 | 76° | 1,5 |
| 45° | 1,2 | 81° | 1,6 |
| 64° | 1,3 | 86° | 1,7. |

Unser großer Gauß hat eine Methode angegeben, um die erdmagnetische Kraft nach absolutem Maße zu bestimmen, d. h. nach der Gewichtseinheit Milligramm und der Längeneinheit Millimeter zu messen. Zugleich gewährt die Methode den Vortheil, daß sie von einer etwaigen Aenderung des magnetischen Zustandes der Nadel befreit ist. Das Gauß'sche Verfahren läßt sich kurz wie folgt zusammenfassen. Man versetzt einen genau horizontal aufgehängten Magnetstab, dessen Trägheitsmoment K durch Rechnung oder Versuche bestimmt ist, in Schwingung und sucht die Dauer t einer Schwingung, wenn der Stab einzig und allein unter dem des Erd-

magnetismus steht. Man hat dann den Ausdruck: $t = \pi \sqrt{\frac{K}{H\,M}}$, in welchem H die horizontale Componente des Erdmagnetismus und M das magnetische Moment des Magnetstabes bezeichnet. Aus der Gleichung entspringt: $H\,M = \frac{\pi^2 K}{t^2}$. — Hierauf beobachtet man die Ablenkung w′, welche eben dieser Stab an einer Declinationsnadel hervorbringt, wenn er in hinlänglicher Entfernung x der Nadel so gegenübersteht, daß seine Längenachse auf dem magnetischen Meridian senkrecht ist und die Achse der Nadel halbirt. Nach dem, was an einer früheren Stelle gesagt worden ist, hat man dann: $\tan w' = \frac{2\,M}{H\,x^3}$ oder $\frac{M}{H} = \frac{1}{2} x^3 \,.\, \tan w'$. Durch Elimination von M aus dieser Gleichung und der Gleichung $H\,M = \frac{\pi^2 K}{t^2}$ erhält man: $H = \frac{\pi}{t} \sqrt{\frac{2\,K}{x^3 \tan w'}}$. — Dieser Angabe liegt der Magnetismus desjenigen Magnets als Einheit zum Grunde, welcher einem andern gleich starken Magnet in der Entfernung = 1 ein Drehungsmoment ertheilt, das dem Drucke der Gewichtseinheit in dem Orte, wo die Schwere = 1 ist, an einem Hebelarme von der Länge = 1 gleich kommt. Auf diese Einheit bezieht sich die Größe H der horizontalen Componente der magnetischen Erdkraft. Um die Intensität P der totalen magnetischen Kraft zu erhalten, muß man die Größe H noch mit dem Cosinus der Inclination dividiren.

Bei einem von Weber in Göttingen angestellten Versuche hatte der Magnetstab eine Länge von 101 Millimeter, eine Breite von 17,5 Millimeter und ein Gewicht von 142 Grammes. Unter dem Einflusse des Erdmagnetismus brauchte der Stab 6,67 Secunden zu einer Schwingung, während er an einer Declinationsnadel aus 450 Millimeter Entfernung eine Ablenkung von 10° 58′ hervorbrachte. — Die Mechanik lehrt, daß das Trägheitsmoment eines parallelepipedischen Stabes in Bezug auf eine durch dessen Schwerpunkt gehende feste Achse nach der Formel $K = \frac{l^2 + b^2}{12}\, p$ berechnet wird, in welcher l und b die Längen derjenigen Kanten darstellen, die nicht mit der Umdrehungsachse parallel laufen, und p das Gewicht des Stabes bezeichnet. Hieraus ergibt sich

$$H = \frac{3{,}1415}{6{,}67} \,.\, \sqrt{\frac{2\,.\,(\overline{101}^2 + \overline{17{,}5}^2),\ 142000}{\overline{450}^3 \,.\, \tan 10^0\, 53'}} = 1{,}774$$

als Werth der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus für Göttingen. Bei einem von unseren in ähnlicher Weise angestellten Versuchen war $l = 250^{mm}$; $b = 12^{mm}$; $p = 124{,}5$ Grammes; $t = 11{,}06$ Secunden; $x = 940^{mm}$; $w = 1^0$. Daraus ergab sich für die damalige Horizontal-Componente des Erdmagnetismus in Darmstadt der Werth = 2,29.

Nachstehende Tabelle enthält die magnetischen Constanten, wie solche für einige Orte im Jahr 1845 und 1850 stattgefunden haben.

| Orte. | Jahr. | Declination. | Inclination. | Horizontale Intensität. |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Berlin | 1845 | 16° 32′ | 67° 35′ | 1,780 |
| Dublin | 1845 | 27° 0′ | 69° 41′ | 1,689 |
| Göttingen | 1845 | 17° 43′ | 67° 32′ | 1,785 |
| Leiden | 1845 | 20° 52′ | | 1,723 |
| Mailand | 1845 | 17° 0′ | 63° 13′ | 2,037 |
| Port Louis | 1845 | 9° 44′ | — 53° 56′ | 2,377 |
| Tiflis | 1845 | + 1° 52′ | | 2,554 |
| Venedig | 1845 | 14° 4′ | 64° 22′ | 2,036 |
| Brüssel | 1850 | 20° 40′ | 67° 54′ | 1,771 |
| Carlsruhe | 1850 | 17° 30′ | 66° 8′ | 1,891 |
| Darmstadt | 1850 | 17° 9′ | 66° 59′ | 1,820 |
| Leipzig | 1850 | 15° 43′ | 67° 5′ | 1,831 |
| London | 1850 | 22° 29′ | 68° 48′ | 1,739 |
| München | 1850 | 16° 13′ | 65° 24′ | 1,925 |
| Paris | 1850 | 20° 35′ | 66° 42′ | 1,858 |
| Wien | 1850 | 13° 33′ | 64° 22′ | 1,995. |

Zur genauen Beobachtung der Variationen der Intensität der horizontalen Componente des Erdmagnetismus dient das von Gauß construirte Bifiliarmagnetometer. Der Apparat besteht aus einem mit Spiegel, Fernrohr und Scala versehenen Magnetometer, welches an zwei an seiner Mitte befestigten parallel nebeneinander herlaufenden Fäden so aufgehängt ist, daß er sich in horizontaler Richtung frei drehen kann. Durch Torsion der Fäden läßt es sich leicht dahin bringen, daß die Achse des Magnetstabes senkrecht auf dem magnetischen Meridian stehen bleibt. In dieser Stellung wirkt der Erdmagnetismus mit voller Kraft auf den Magnetstab und sucht ihn in den magnetischen Meridian zurückzuführen; die entgegengesetzt wirkende Torsionskraft hält ihn aber zurück, so daß er in dieser Gleichgewichtslage verharren würde, wenn die magnetische Erdkraft unverändert bliebe. — Allein der Erdmagnetismus nimmt an Stärke bald zu bald ab; im ersteren Falle nähert sich der Stab dem magnetischen Meridian, bis die durch größere Drehung vermehrte Torsionskraft dem stärkeren Erdmagnetismus wieder das Gleichgewicht hält; im zweiten Falle überwiegt die Torsion und entfernt den Magnetstab vom magnetischen Meridiane. — So geräth der Magnetstab in Folge der Aenderungen in der Intensität des Erdmagnetismus in eine fortwährende diesen Aenderungen entsprechende Bewegung, deren Größe auf den Betrag der Aenderung in der erdmagnetischen Kraft schließen läßt.

## 4. Vertheilung des Erdmagnetismus auf der Erdoberfläche. — Theorie des Erdmagnetismus.

Um ein deutliches Bild von der Richtung und Größe der erdmagnetischen Kraft an den verschiedenen Orten der Erdoberfläche zu erhalten, hat man auf Abbildungen oder Karten die Punkte verzeichnet, für deren jeden einzeln das betreffende Bestimmungsstück der magnetischen Kraft durchgehends denselben Werth besitzt. Derartige Karten gelten streng genommen nur für die Zeit, zu welcher die ihnen zum Grunde liegenden Beobachtungen angestellt worden sind; doch werden sie immer noch für eine Zeit lang ein ziemlich getreues Bild der Erscheinung geben. Eine Linie, welche Orte von einerlei Declination miteinander verbindet, heißt eine isogonische. Linien ohne Abweichung, in deren Punkten die Declinationsnadel mit der Richtung des astronomischen Meridians zusammenfällt, gibt es auf der Erdfläche zwei. — Die größere Linie ohne Abweichung umzieht die Erde einem Meridiane ähnlich; sie durchschneidet den östlichen Theil von Nord- und Südamerika, dann Neuholland, Arabien, Persien, Rußland. Diese Linie ohne Abweichung zerfällt in vier Partien; in den Punkten zweier Partien zeigt der Nordpol nach Norden, während in den Punkten der beiden andern das Umgekehrte stattfindet. — Die kleinere Linie ohne Abweichung bildet ein Oval und geht durch das östliche Sibirien, China und das angrenzende Meer; der Nordpol der Magnetnadel zeigt überall auf derselben nach Norden. Diesseits und jenseits einer Linie ohne Abweichung hat die Declination das entgegengesetzte Zeichen. — Geht man von irgend einem Orte aus fortwährend in der Richtung, nach welcher das Nordende der Magnetnadel hinweist; so bezeichnet der zurückgelegte Weg einen sogenannten magnetischen Meridian. Sämmtliche magnetischen Erdmeridiane laufen in dem magnetischen Nordpole und dann wieder in dem magnetischen Südpole der Erde zusammen.

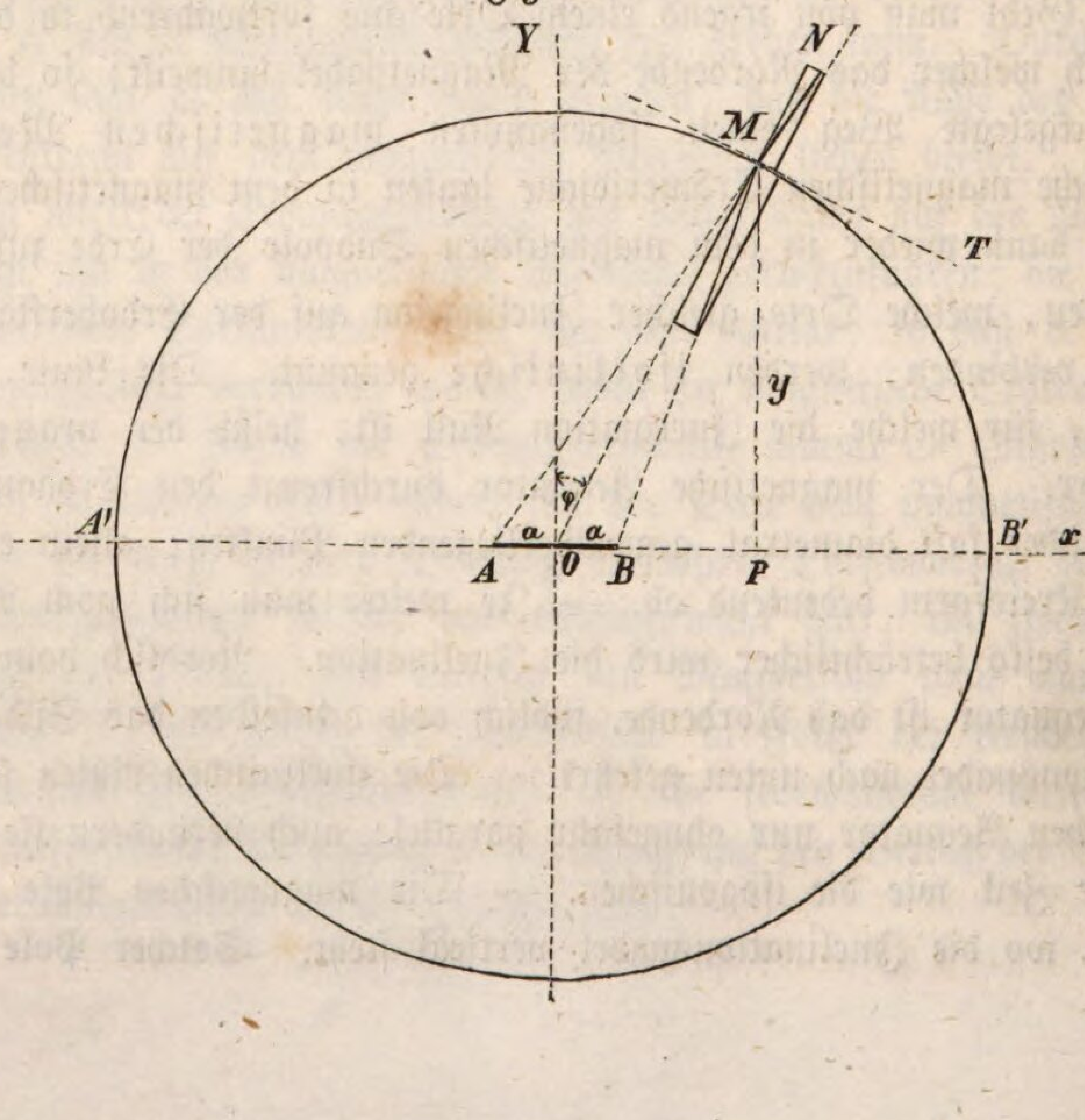
Linien, welche Orte gleicher Inclination auf der Erdoberfläche miteinander verbinden, werden isoklinische genannt. Die Linie auf der Erdfläche, für welche die Inclination Null ist, heißt der magnetische Aequator. Der magnetische Aequator durchkreuzt den Erdäquator in zwei einander fast diametral gegenüberliegenden Punkten; allein er weicht von der Kreisform bedeutend ab. — Je weiter man sich vom Aequator entfernt, desto beträchtlicher wird die Inclination. Nördlich vom magnetischen Aequator ist das Nordende, südlich von demselben das Südende der Inclinationsnadel nach unten gekehrt. — Die isoklinischen Linien sind dem magnetischen Aequator nur ohngefähr parallel; auch verändern sie sich im Laufe der Zeit wie die isogonischen. — Die magnetischen Pole befinden sich dort, wo die Inclinationsnadel vertical steht. Solcher Pole gibt es

zwei auf der Erdoberfläche, einen nördlichen und einen südlichen. Der erstere liegt, wie oben schon angegeben, bei der Mellville's-Insel unter 75° nördlicher Breite und 79° 50′ westlicher Länge von Ferro; der andere südlich von Van-Diemensland unter 76° südlicher Breite und 170° östlicher Länge von Ferro.

Die Linien, welche Orte gleicher Intensität verbinden, nennt man isodynamische. In der Nähe des magnetischen Aequators ist die Intensität des Erdmagnetismus am kleinsten und nimmt auf beiden Seiten mit der geographischen Breite zu. — Die Orte, wo die stärkste Intensität herrscht, fallen mit den magnetischen Polen nicht zusammen. In der nördlichen Halbkugel gibt es sogar zwei verschiedene Punkte größter Intensität, den einen in der Nähe der Hudsonsbay, den andern im westlichen Asien. — Die isodynamischen Linien verlaufen wie die isoklinischen im Allgemeinen in der Richtung der Parallelkreise; auch zeigen beide Linien öfters große Unregelmäßigkeiten, welche localen Ursachen zuzuschreiben sind. Nach den in verschiedenen Höhen über dem Niveau des Meeres von Humboldt auf den Cordilleren und von Kupfer auf dem Kaukasus angestellten Intensitätsbeobachtungen zu schließen, scheint die Intensität des Erdmagnetismus mit der Höhe über der Erdoberfläche abzunehmen.

Wir wollen nun auf theoretischem Wege untersuchen, welchen Einfluß auf ein auf der Oberfläche der Erde befindliches Magnettheilchen ausgeübt wird, wenn wir einen Magneten im Innern derselben annehmen. Es seien A und B (Fig. 38) die Pole des Magnets, deren jeder um die

Fig. 38.



Größe a vom Mittelpunkt O der Erde entfernt ist; ferner M ein Punkt auf der Erdoberfläche, dessen rechtwinklige Coordinaten x und y sind und der mit der Einheit des in A vorhandenen gleichnamigen Magnetismus begabt ist. Der Punkt M erfährt von den Polen A und B zwei Einwirkungen, deren eine abstoßend durch $\frac{c}{\overline{AM}^2}$ und andere anziehend durch $\frac{c}{\overline{BM}^2}$ dargestellt wird, wo c die magnetische Einwirkung bezeichnet, welche einer der magnetischen Erdpole auf den mit der Einheit des Magnetismus begabten Punkt in der Entfernung 1 ausübt. Zerlegen wir jene zwei Kräfte in eine nach der Richtung der Normale MN wirkende Seitenkraft und in eine nach der Richtung der Tangente MT wirkende Seitenkraft; so haben wir für die erstere Componente den Ausdruck:

$$V = \frac{c}{\overline{BM}^2} \cos OMB - \frac{c}{\overline{AM}^2} \cos OMA,$$

und für die andere Componente den Ausdruck:

$$H = \frac{c}{\overline{BM}^2} \sin OMB + \frac{c}{\overline{AM}^2} \sin OMA.$$

Nun ist, wenn wir den Radius OM = r setzen:

$$\cos OMB = \cos(B - O) = \frac{x - a}{BM} \cdot \frac{x}{r} + \frac{y}{BM} \cdot \frac{y}{r} = \frac{r^2 - ax}{BM \cdot r};$$

$$\sin OMB = \sin(B - O) = \frac{ay}{BM \cdot r};$$

$$\cos OMA = \cos(O - A) = \frac{r^2 + ax}{AM \cdot r};$$

$$\sin OMA = \sin(O - A) = \frac{ay}{AM \cdot r}.$$

Durch Substitution dieser Werthe verwandelt sich der Ausdruck von V in

$$V = \frac{(r^2 - ax)}{\overline{BM}^3 \cdot r} c - \frac{c}{\overline{BM}^3} \cdot \frac{(r^2 + ax)}{r}$$

oder $$V = \frac{c}{r} \cdot \frac{r^2(\overline{AM}^3 - \overline{BM}^3) - ax(\overline{AM}^3 + \overline{BM}^3)}{\overline{AM}^3 \cdot \overline{BM}^3};$$

und der Ausdruck von H in:

$$H = \frac{cay}{\overline{BM}^3 \cdot r} + \frac{cay}{\overline{AM}^3 \cdot r} = \frac{cay}{r} \frac{(\overline{AM}^3 + \overline{BM}^2)}{\overline{AM}^3 \cdot \overline{BM}^3}.$$

Weiter ist $\overline{AM}^2 = r^2 + 2ax + a^2$, und $\overline{BM}^2 = r^2 - 2ax + a^2$; woraus, wenn wir a hinlänglich klein annehmen, entspringt:

$$AM = r + \frac{ax}{r}; \quad BM = r - \frac{ax}{r};$$

$$\overline{AM}^3 = r^3 + 3arx; \quad \overline{BM}^3 = r^3 - 3arx.$$

Mittelst dieser Werthe reduciren sich die Werthe von V und H auf

$$V = \frac{4ea}{r^3} \cdot \frac{x}{r} \text{ und } H = \frac{2ca}{r^3} \cdot \frac{y}{r}.$$

Bezeichnen wir den Winkel yOM oder die magnetische Breite des Ortes mit $\varphi$, so ist $\frac{x}{r} = \sin\varphi$ und $\frac{y}{r} = \cos\varphi$. Dadurch entsteht

$$V = \frac{4ca}{r^3}\sin\varphi \text{ und } H = \frac{2ca}{r^3}\cos\varphi.$$

Für die Inclination i an dem Orte M hat man $\tang i = \frac{V}{H} = 2 \tang \varphi$. Durch Zusammensetzung der beiden Componenten V und H erhält man die Kraft P des Erdmagnetismus in M, nämlich:

$$P = \frac{2ca}{r^3}\sqrt{1 + 3\sin^2\varphi}.$$

Da $\tang i = 2 \tang \varphi$ ist, so bekommt man auch:

$$P = \frac{4ca}{r^3} \cdot \frac{1}{\sqrt{4 - 3\sin^2 i}},$$

welche Formel die Kraft des Erdmagnetismus P aus der blosen Inclination finden lehrt. — Für die horizontale Kraft H des Erdmagnetismus findet man desgleichen:

$$H = \frac{4ca}{r^3} \cdot \frac{\cos i}{\sqrt{1 + 3\cos^2 i}}.$$

An zwei Orten, deren Inclination i und $i_1$, deren magnetische Erdkräfte P und $P_1$ sind, erhält man für das Verhältniß derselben die Relation: $\frac{P^2}{P_1^2} = \frac{4 - 3\sin^2 i_1}{4 - 3\sin^2 i}$. — Hiernach betrüge die Intensität am magnetischen Pole das Doppelte von der Intensität am magnetischen Aequator. Für das Verhältniß der horizontalen Componenten H und $H_1$ an den beiden Orten ergibt sich die Gleichung:

$$\frac{H^2}{H_1^2} = \frac{\cos^2 i}{\cos^2 i_1} \cdot \frac{1 + 3\cos^2 i_1}{1 + 3\cos^2 i}.$$

Die Verlängerung von AB trifft die Erdoberfläche in zwei Punkten A′, B′, welche die Pole sind, während die durch die Mitte O auf AB senkrecht geführte Ebene auf der Erdoberfläche den magnetischen Aequator bestimmt.

Die aus den obenstehenden Formeln entnommenen Resultate stimmen öfters mit den Beobachtungen ziemlich gut überein. Verschiedene hier und dort vorkommende Abweichungen zwischen der Theorie und der Erfahrung rühren daher, daß einmal die aufgestellten Formeln nur als annähernd richtig zu betrachten sind, indem wir über die Länge des Magnets im Inneren der Erde nichts Bestimmtes aussagen können; daß zweitens locale

Umstände von bedeutendem Einfluß sind, den nur eine strengere Theorie zu ermitteln vermag; daß drittens die magnetische Vertheilung auf der Erdoberfläche nicht permanent bleibt, sondern fortwährenden Veränderungen unterliegt. — Wir wissen nicht, wie die Erde zu dem Besitz eines solchen Magnets in ihrem Innern gelangt ist, wie wir denn auch nicht wissen, wie sie zur Eigenschaft der Schwere gekommen ist. — Möglich, ja wahrscheinlich sogar, daß ein derartiger Magnet gar nicht einmal existirt, sondern nur alle Theile der Erdoberfläche magnetische Kräfte besitzen, durch deren wechselseitige Einwirkungen ein polarer Zustand hervortritt, als läge gleichsam im Innern der Erde ein Magnet verborgen. Ist doch auch die Totalaction aller Theile einer aus concentrischen homogenen Schichten bestehenden Kugel auf einen äußeren Punkt von der Art beschaffen, als ob blos der Mittelpunkt der Kugel auf gedachten Punkt anziehend wirkte, gleichsam als wäre in dem Mittelpunkt die ganze Masse der Kugel vereinigt. — Einen Beleg für die Richtigkeit dieser Ansicht liefern uns die von Barlow angestellten Untersuchungen über eine Eisenkugel, welche Magnetismus durch ihre Lage erhielt. Die magnetische Vertheilung auf ihrer Oberfläche brachte nämlich an einer astatischen Magnetnadel dieselben Ablenkungen hervor, welche die gewöhnlichen Magnetnadeln von der Erde erfahren.

Die horizontale magnetische Intensität fand Gauß im Jahr 1845 in Göttingen nach absolutem Maße gleich 1,785, während die Inclination damals dort 67° 32′ betrug. Zur Bestimmung der Größe c ergäbe sich hiernach die Gleichung:

$$1{,}785 = \frac{4\,c\,a}{r^3} \cdot \frac{\cos 67^0\,32'}{\sqrt{1 + 3\cos^2 67^0\,32'}},$$

wo r = 6366200 Meter ist. — Für a = 1 Meter erhalten wir c = 3612900000000000000000; d. h. der Magnetismus der Erde ist 361 Trillionenmal größer als der eines ein Meter langen mit der Einheit des Magnetismus begabten Eisenstabes. Es wären demnach 361 Trillionen dergleichen Magnetstäbe mit parallelen magnetischen Achsen erforderlich, um die magnetische Erdkraft zu ersetzen.

Alle Erscheinungen weisen darauf hin, daß der Erdmagnetismus durch die Wärme geschwächt wird. Deßhalb nimmt die magnetische Intensität der Erde von den kälteren Gegenden nach den wärmeren hin ab. Die geringste Intensität nehmen wir in Südafrika wahr, wo die größte Wärme auf der Erde herrscht. Die Intensität ist in Europa geringer als in Asien und in Asien geringer als in Amerika, gerade so wie es die Verschiedenheit der Temperaturen dieser Erdtheile mit sich bringt. — Die größte Intensität fällt mit der kleinsten Wärme im nördlichen Amerika zusammen. — Bringen wir die isodynamischen Linien mit den isothermischen

Linien oder den Linien gleicher Wärme in vergleichende Zusammenstellung, so ist eine gewisse Aehnlichkeit zwischen beiden Linien nicht zu verkennen; woraus wir auf das Vorhandensein eines engeren Zusammenhangs zwischen den Erscheinungen des Erdmagnetismus und der Wärme schließen dürfen. Auch die täglichen und jährlichen magnetischen Variationen haben höchst wahrscheinlich in der Sonnenwärme ihre unmittelbare Veranlassung. Indem Morgens die Ostseite sich stärker erwärmt als die Westseite, wird die Anziehung von Ost kleiner als von West, weßhalb der Nordpol Vormittags westwärts geht oder die Declination zunimmt. Auf dieselbe Weise wird, wenn die Sonne Nachmittags die Westseite erwärmt, der Einfluß der Ostseite stärker werden und die Nadel mehr dorthin sich richten. — Die Inclinationsnadel zeigt gegen die Mittagszeit eine immer geringer werdende Neigung, weil die Südseite während des Tages eine höhere Temperatur erhält als die Nordseite und dadurch ihr Südpol weniger abgestoßen wird. Aus derselben Ursache muß von Morgens ab die Intensität des Erdmagnetismus wachsen. — Die Variationen des Magnetismus fallen bei Nacht unbedeutend aus, weil die Wärmevariationen nur gering sind. Die magnetischen Variationen erscheinen im Sommer größer als im Winter, weil im letzteren Falle die Temperaturveränderungen weniger betragen. In der heißen Zone werden die Variationen der Declination unbedeutend sein, weil das Thermometer daselbst weniger schwankt. Die magnetischen Variationen werden bei bedecktem Himmel kleiner sein als bei heiterem, weil die Temperaturveränderungen dann kleiner sind. Kurz alle Erscheinungen weisen darauf hin, daß der Erdmagnetismus durch die Erdwärme geschwächt wird.

## IV. Erregung des Erdmagnetismus.

### 1. Verfahren Stahlstäbe zu magnetisiren.

Gerade oder gekrümmte Stahlstäbe werden am besten durch Bestreichen mit bereits vorhandenen künstlichen Magneten in einen andauernden magnetischen Zustand versetzt, wobei man sich verschiedener Methoden bedient. Bei dem einfachen Striche setzt man einen Pol des Magnets auf das eine Ende des zu magnetisirenden Stahlstabes und führt ihn dann im langsamen aber gleichförmigen Zuge über das Ende hinaus. Hierauf bringt man den abgezogenen Pol in der Luft an seine ursprüngliche Stelle zurück und wiederholt das Verfahren mehrmals mit dem nämlichen Pole in der nämlichen Richtung bis zur Sättigung, d. h. bis der Stab keinen stärkeren Magnetismus mehr anzunehmen vermag. Man muß sich dabei hüten, den Pol auf dem Stabe zurückzuführen, indem dadurch der früher hervorgerufene Magnetismus wieder ganz oder zum Theil aufgehoben

würde. — Das Ende, bei welchem der Strich aufhört, bekommt den entgegengesetzten Magnetismus von dem des Streichpoles, während das Ende, bei welchem der Strich anfängt, den mit dem streichenden Pole gleichnamigen Magnetismus erhält. — Man kann den einfachen Strich auch in der Art ausführen, daß man einen Pol des Streichmagnets auf die Mitte des zu magnetisirenden Stahlstabes aufsetzt und damit über das andere Ende hinausstreicht; dies wiederholt man öfters, ohne aber je den Stab vom Ende gegen die Mitte zu streichen. Hierauf behandelt man die andere Hälfte des Stabes ebenso mit dem andern Pole des Streichmagnets. — Jede Hälfte erhält eine Polarität, welche der des aufgesetzten Poles entgegengesetzt ist. — Der einfache Strich ist nicht geeignet, um einen etwas starken Stab bis zum Sättigungspunkte zu magnetisiren; auch entstehen bei ungleichförmigem Streichen oder bei ungleichartiger Beschaffenheit des Stabes öfters Folgepunkte.

Bei dem getrennten Striche legt man den zu magnetisirenden Stab mit seinem mittleren Theile auf eine Holzunterlage und mit den Enden auf die entgegengesetzten Pole zweier Magnete; setzt dann gleichzeitig zwei entgegengesetzte Magnetpole auf die Mitte des Stabes, so daß sie den gleichnamigen Polen der beiden Stäbe entsprechen, welche als Unterlage dienen. Hierauf zieht man die aufgesetzten Magnetstäbe, die man am besten unter Winkeln von 25° bis 35° gegen den Horizont geneigt hält, gleichzeitig nach den entgegengesetzten Enden des Stabes hin, hebt sie gleichzeitig dort ab, setzt sie von Neuem in der Mitte auf und wiederholt mehrmals diese Operation. — Die festen und die beweglichen Magnete unterstützen einander, um die magnetischen Kräfte in den benachbarten Theilen des Stahlstabes zu trennen, so daß die Molecüle sämmtlich ihre gleichnamigen Pole nach einerlei Gegend hin gerichtet haben. — Die Lage der Pole des neuen Magnets ist die entgegengesetzte von der zur Magnetisirung angewendeten festen und beweglichen Magnete. — Der getrennte Strich ist besonders dazu geeignet, Stäbe, deren Dicke fünf Millimeter nicht überschreitet, in einen regelmäßigen Zustand zu versetzen.

Zur Magnetisirung starker Stäbe dient der Doppelstrich. Man setzt auf die Mitte des zu magnetisirenden Stabes die entgegengesetzten Pole zweier Magnete, wobei die beiden Enden gegen ein zwischen ihnen befindliches Holzklötzchen öfters gestemmt werden; zieht sie dann gleichzeitig nach dem nämlichen Ende des Stabes und von da bis zu dem entgegengesetzten Ende. Diese Operation wiederholt man mehreremal hintereinander und hebt die Magnete zuletzt in der Mitte ab, so daß der letzte halbe Strich dem ersten halben entgegengesetzt gewesen. — Die Lage der Pole des neuen Magnets ist auch hier die umgekehrte im Vergleich mit den zur Magnetisirung angewendeten Streichmagnetes. — Es ist vortheilhaft, die

zum Streichen dienenden Magnete unter Winkeln von 15° bis 20° gegen die Achse des zu magnetisirenden Stabes geneigt zu halten. — Zugleich ist es gut, an die Enden des zu magnetisirenden Stabes zwei starke Magnetpole zu legen, die denen, welche daselbst entstehen sollen, entgegengesetzt sind.

Beim Kreisstriche legt man vier Stahlstäbe in ein rechtwinkliges Viereck zusammen, setzt auf einen der Stäbe zwei ungleichnamige Pole, führt sie mehrmals in der nämlichen Richtung ringsherum und zieht die Streichpole an einer Verbindungsstelle zweier Stäbe von beiden ab. Jeder Stab bekommt an seinen beiden Enden eine solche Polarität, welche derjenigen entgegengesetzt ist, die der bei der Bewegung ihm zunächst liegende Streitmagnet besitzt. — Zwei der vier Stäbe können auch Magnete sein, in welchem Falle sie zwei gegenüberstehende Seiten des Vierecks mit entgegengesetzter Lage der Pole bilden müssen. — Wenn man mehrere Magnetstäbe dergestalt in einem Ringe befestigt, daß sie wie die Radien nach der Mitte zusammenlaufen und die ungleichnamigen Pole einander gegenüberstehen, einen kleinen Raum zwischen sich übrig lassend; so wird ein durch die Mitte gezogener Stahldraht ein Transversalmagnet mit so viel Reihen von diametral gegenüberstehenden Polen, als man Magnetstäbe angewendet hat.

Um einen hufeisenförmigen Stab zu magnetisiren, legt man ihn auf einen Tisch und verbindet die beiden Enden des Stabes durch ein vorgelegtes weiches Eisen (den Anker), setzt den hufeisenförmigen Streichmagnet mit jedem Pole auf einen Schenkel des Hufeisens so nahe als möglich am Anker in aufrechter Stellung. In gleichförmigem Zuge führt man den Streichmagnet bis über die Wölbung des Hufeisens hinaus und wieder zurück, ohne jedoch hier das Hufeisen zu berühren. — Nach mehreren Strichen dieser Art hat der Stab die unter dem Einflusse des Streichmagnets mögliche Stärke und zwar hat jeder Schenkel die mit dem aufgesetzten Pole des Magnets gleichnamige Polarität. — Man kann auch den Streichmagnet mit beiden Polen auf die Schenkel des Hufeisens an der Wölbung aufsetzen und gegen die Enden des Stabes und darüber hinausführen. — Jeder Schenkel des Hufeisens erhält da die dem aufgesetzten Pole entgegengesetzte Polarität.

Die eben besprochene von Hofer herrührende Methode kann man auch anwenden, um zwei gerade Stäbe zu magnetisiren. Man legt zu diesem Behufe die beiden Stäbe in paralleler Lage auf einen Tisch, verbindet ihre Endflächen mit zwei Ankern und setzt dann den Hufeisenmagnet mit seinen Polen in der Nähe des Ankers auf die zwei Stäbe. Hierauf führt man den Streichmagnet in gleichförmigem Zuge über die andern Enden der

Stäbe hinaus, bringt ihn ohne die Stäbe zu berühren wieder auf die erste Stelle zurück und wiederholt das Verfahren einige Male. — Die Stellen, an denen die Pole aufgesetzt wurden, erhalten eine dem betreffenden Pole gleichnamige Polarität. — Man kann auch zwei Hufeisenmagnete auf einmal auf dergleichen Stäbe setzen, entweder beide in der Mitte der Stäbe oder jeden in der Nähe eines Ankers, wobei man jeden Stab zugleich von zwei ungleichnamigen Polen berühren läßt. — Im ersteren Falle führt man die Magnete in entgegengesetzter gegen die Anker hin und über sie hinaus, im zweiten gegen die Mitte hin und dann quer über den Stab weg.

Mohrs Verfahren um hufeisenförmige Stäbe mit einem Streichmagnet von Hufeisen zu magnetisiren, besteht darin, daß letzterer von der Wölbung aus gegen die mit einem Anker geschlossenen Enden geführt wird. Bevor jedoch der Streichmagnet auf die gewöhnliche Weise entfernt wird, legt man erst dem Hufeisen einen zweiten Anker auf und schließt dadurch das gestrichene Hufeisen. Zuletzt zieht man das Streichhufeisen mit dem früher vorgesetzten Anker ab, so daß beide Hufeisen stets geschlossen bleiben. Im Uebrigen ist es leicht, dieses Verfahren ebenfalls auf gerade Stäbe anzuwenden.

Eine eigenthümliche Methode hat Mohr angegeben, um zu erfahren, ob fortgesetztes Streichen die magnetische Kraft noch vermehre. Bei dem ersten Aufsetzen des magnetisirenden Hufeisens auf das unmagnetische wird der Anker des letzteren noch nicht angezogen; es geschieht erst, wenn man das streichende Hufeisen nach den Enden führt. Beim zweiten Aufsetzen des streichenden Hufeisens haftet der Anker nur schwach und wird selbst gar nicht mehr angezogen, wenn man beim Streichen bis in eine gewisse Entfernung von den Enden gekommen ist. Die Anziehung tritt aber wieder ein, wenn man das Streichen gegen die Enden zu fortsetzt. Bei dem dritten Striche zeigen sich wiederum zwei Punkte, der Indifferenz und der erneuerten Anziehung, aber beide sind den Enden näher gerückt. Aehnliches geschieht bei jedem folgenden Striche, bis zuletzt beide Abstände stationär werden; in welchem Fall der gestrichene Magnet das Maximum der Intensität in Bezug auf den streichenden Magnet erreicht hat.

Um die verschiedenen Magnetisirungsmethoden mit einander zu vergleichen, wollen wir einige Resultate mittheilen, welche sich beim Streichen von 30 Centimeter langen, 12 Millimeter breiten und 5 Millimeter dicken Lamellen aus englischem Stahl mit zwei nicht gerade starken Magnetstäben ebenfalls aus englischem Stahl ergeben haben. Bei den in Rede stehenden Versuchen wurde jede Lamelle auf einer Seite 20 mal gestrichen und dann geprüft, wie viel Zeit sie zu 10 Schwingungen brauchte. — Bei dem getrennten Striche betrug die Zeit 150 Secunden; bei dem

Doppelstriche 172 Secunden; bei dem Kreisstriche 135 Secunden. Der Kreisstrich ist demnach erfolgreicher als der Doppelstrich und der getrennte Strich.

Um die Hoffer'sche Methode mit der Mohr'schen zu vergleichen, wurden zwei Stäbe durch zwei Anker verbunden, alsdann die Pole eines Hufeisenmagnets auf die einen Enden der Stäbe aufgesetzt und bis über die andern hinausgeführt. Dies geschah auf beiden Seiten der Stäbe nach der einen wie der andern Methode so oft, bis keine weitere Verstärkung mehr eintrat. — Der eine der nach der Hoffer'schen Methode behandelten Stäbe brauchte zu 10 Schwingungen 96 Secunden, der andere dazu 93 Secunden. Dagegen brauchte der eine nach der Mohr'schen Methode magnetisirte Stab zu 10 Schwingungen 107 Secunden, der andere 106 Secunden. Für gerade Stäbe scheint demnach das eine Verfahren Hoffer's zweckmäßiger als das von Mohr zu sein.

Was die Magnetisirung hufeisenförmiger Stahle durch Hufeisenmagnete anlangt, so scheint die Methode, bei welcher der Streichmagnet von der Wölbung des zu magnetisirenden Hufeisens aus über dessen Enden weg geführt wird, ausgiebiger zu sein als die Methode, bei welcher man den Streichmagnet von den Enden über die Wölbung des zu magnetisirenden Stahles abzieht. Nur muß bei der ersteren der erwähnten Methoden dafür Sorge getragen werden, daß der während des Streichens vorgelegte Anker von dem Streichmagnet nicht mitgerissen werde. Doch ist es bei dieser Methode nicht gerade wesentlich, daß man den Anker vorlege. Bei der einen wie der andern Methode wird nach einigen Strichen der zu magnetisirende Stahl für den gegebenen Streichmagnet bereits das Maximum seiner Kraft erreicht haben.

Zum Schlusse ein Paar Worte über die beiden Verfahrungsweisen, bei denen man sich zur Magnetisirung gerader Stahlstäbe zweier beiläufig gleich starker Hufeisenmagnete bedient. Bei dem einen wie dem andern Verfahren werden die beiden Stäbe in einer der Weite der anzuwendenden hufeisenförmigen Streichmagnete parallel nebeneinander gelegt und auf beiden Seiten an ihren Enden durch Anker verbunden. — Bei dem einen Verfahren setzt man nahe an den einen Anker den einen Streichmagnet und nahe an den andern Anker den andern Streichmagnet senkrecht auf beide Stäbe so auf, daß jeder Stab von zwei ungleichnamigen Polen berührt wird. Alsdann führt man beide Streichmagnete parallel zu einander bis in die Mitte der Stäbe, worauf sie in entgegengesetzter Richtung daselbst nach der Seite auseinander gezogen werden. — Bei der zweiten Methode setzt man die beiden hufeisenförmigen Streichmagnete auf die Mitte der beiden Stäbe, jedoch wieder so, daß jeder Stab von zwei ungleichnamigen Polen berührt wird. Hierauf entfernt man die beiden

Streichmagnete in paralleler Richtung von einander und zieht sie über die Ankerflächen der Stäbe hinaus. — Nach der einen wie der andern Methode wird häufig schon durch einen einzigen Strich das Maximum an Kraft erreicht; sicher tritt dasselbe aber ein, wenn man den Strich zwei oder dreimal wiederholt.

## 2. Einfluß der Temperatur auf Erregung des Magnetismus.

Ein jeder Magnet verliert in der Roth- oder Weißglühhitze jede Spur von Magnetismus und gibt nach der Abkühlung kein Zeichen von Polarisation mehr. Ebenso wird ein Stück weiches Eisen bis zum Weißglühen erhitzt vom stärksten Magnet nicht mehr angezogen, mit dem Erkalten kehrt aber die Anziehung zurück. — Auch niedrigere Temperaturen üben auf Magnete eine schwächende Wirkung aus, deren eine bleibend und deren andere vorübergehend ist. — Um den durch die Wärme herbeigeführten bleibenden Verlust kennen zu lernen, haben Moser und Rieß Magnetnadeln in siedendes Wasser getaucht, dann wieder erkalten lassen und nach dem Erkalten hinsichtlich ihrer magnetischen Kraft durch die Schwingungszeit geprüft. — So fanden sie unter andern, daß eine Nadel von weichem Stahl von 1,52 Millimeter Durchmesser zu 30 Oscillationen vor dem Eintauchen 243″,2; nach dem ersten Eintauchen 255″,6; nach dem zweiten 257″,8; nach dem dritten 258″,8; nach dem sechsten 260″,8. Durch ein weiteres Eintauchen veränderte sich die zuletzt wahrgenommene Schwingungszeit nicht mehr. Die Schwächung ist verhältnißmäßig größer durch die ersteren als die späteren Eintauchungen und nimmt nach einer größeren Anzahl Eintauchungen nicht weiter zu.

Die Wirkung der Wärme erfolgt augenblicklich; denn eine längere Zeit andauerndes Eintauchen vermochte den Magnetismus nicht stärker zu afficiren, als ein nur kurze Zeit stattfindendes. — Die Art der Erkaltung übt auf das Endresultat keinen Einfluß aus; denn langsames Erkalten in der Luft oder schnelle Beraubung der Wärme durch Eintauchen in kaltes Wasser bringt die nämliche Aenderung in dem Endzustande hervor. — Die Resultate bleiben sich merklich gleich, mag die Nadel mit Firniß überzogen werden oder nicht; woraus hervorgeht, daß die schwächende Wirkung der Wärme zuzuschreiben ist. — Magnetisirt man eine weiche Stahlnadel von neuem, bis sie wieder ihre anfängliche Kraft erhalten hat; so wirkt eine Erhitzung gerade wie vorhin auf die Nadel.

Gehärtete Nadeln verlieren durch Erhitzen mehr als weiche. Eine solche Nadel von 2,75 Millimeter Durchmesser brauchte zu 80 Oscillationen vor dem Eintauchen 401,6 Secunden; nach dem ersten Eintauchen 451,2″; nach dem zehnten 495,2″. Von hier an verlor sie bei jedem

Eintauchen nur wenig, kam aber erst nach dem 50sten Mal zu einem stabilen Zustande und brauchte dabei zu 80 Oscillationen 576″,8. — Wenn man eine gehärtete Stahlnadel mehrmals magnetisirt und immer wieder erhitzt, verliert sie dadurch jedesmal weniger, bis sie endlich gegen jede Erhitzung unempfindlich wird und keiner bleibenden Einwirkung von Seite der Wärme mehr unterliegt. — Es gibt dies ein bequemes Mittel ab, Magnetnadeln von dauernder Kraft zu verfertigen, wenn sie zugleich vor Rost geschützt werden. — Das weiche magnetisirte Eisen erfährt durch die Wärme des siedenden Wassers einen sehr geringen bleibenden Verlust.

Beim Erkalten eines Magnets, welches unter der Luftpumpe durch Verdampfung von Aether hervorgebracht wird, nimmt seine Stärke zu. Diese Zunahme findet wie die Abnahme plötzlich statt, was zu beweisen scheint, daß der Magnetismus auf der Oberfläche seinen Sitz hat. — Zu dieser Ansicht führen uns auch die Barlow'schen Versuche: er fand nämlich, daß bei massiven und hohlen Kugeln von gleichem Durchmesser die Ablenkungen einer astatischen Nadel in einerlei relativer Lage dieselben blieben. Doch mußte die Dicke der Kugelschale mindestens $^1/_{300}$ vom Durchmesser betragen. — Barlow machte diese Entdeckung bei der Gelegenheit, als er den störenden Einfluß der auf den Schiffen vorkommenden Eisenmassen auf die Magnetnadel durch die Wirkung einer einzigen Scheibe von weichem Eisen, den sogenannten Compensator, zu ersetzen suchte. Zu diesem Behufe bestimmen zwei Beobachter, der eine auf dem Schiffe und der andere auf dem Lande ist, den Unterschied zwischen den Declinationen der Bussole auf dem Schiffe und der Bussole auf dem Lande bei den verschiedenen Stellungen des Schiffes gegen den Meridian. Nachdem dies geschehen ist, bringt man die Bussole von dem Schiffe aufs Land, stellt sie auf einen hölzernen Kasten, der sich um eine durch den Mittelpunkt der Magnetnadel gehende Verticale drehen läßt, und ermittelt hierauf durch Versuche den Ort, an welchem der Compensator befestigt werden muß, damit er bei jeder Drehung des Gestells genau denselben Unterschied in der Declination der Magnetnadel hervorbringt, wie das Eisen auf dem Schiffe, wenn letzteres um den nämlichen Winkel gedreht wurde. Hat die Bussole auf dem Schiffe wieder ihre gewöhnliche Stelle eingenommen, so bringt man den Compensator genau in dieselbe Lage wie früher am Kasten. Gibt nun die Bussole auf dem Schiffe ohne Compensator z. B. die Abweichung 36° an, und mit Compensator 40°; so ist die wahre Abweichung $36^0 - 4^0 = 32^0$, weil der Compensator dieselbe Wirkung wie das Eisen auf dem Schiffe hervorbringt.

Eisen und Stahl verlieren bei Rothglühhitze jede Spur von magnetischer Eigenschaft. Eine ähnliche Erscheinung nehmen wir auch bei den

übrigen magnetischen Metallen wahr, mit dem Unterschiede, daß die Temperatur, bei welcher sie ihren Magnetismus verlieren, von der des Eisens verschieden ist. — Kobalt wird in der lebhaftesten Weißglühhitze noch vom Magnete angezogen. Chrom verliert diese Eigenschaft vor dem Dunkelrothglühen, Nickel bei der Zinkschmelzhitze, Mangan schon bei 25 Grad über dem Nullpunkte. — Es ist darum denkbar, daß auch andere Körper, welche bei gewöhnlicher Temperatur unmagnetisch sind, bei einer oder der andern starken Temperaturerniedrigung magnetische Eigenschaften erlangen. — Erwägen wir, daß Eisen, Nickel, Kobalt und Mangan diejenigen Metalle sind, deren letzte Theilchen am meisten einander nahe liegen; so können wir uns veranlaßt finden, die Eigenschaft jener vier Metalle, vorzugsweise für den Magnetismus empfänglich zu sein, der größeren gegenseitigen Annäherung ihrer Theilchen zuzuschreiben. Hiernach wäre es dann erklärlich, warum die magnetische Intensität jener Stoffe mit der Erhöhung der Temperatur abnehmen und mit der Erniedrigung der Temperatur zunehmen muß. Zugleich können wir uns Rechenschaft davon ablegen, warum weiches Eisen in der Kälte für den Erdmagnetismus empfänglicher wird als bei Rückkehr zur gewöhnlichen Temperatur.

Um den vorübergehenden Einfluß der Wärme kennen zu lernen, läßt man die Nadeln in einem gläsernen Gefäße schwingen, welches in einem größeren mit dem zu erwärmenden Wasser gefüllten enthalten ist. Die nachfolgenden Resultate gelten für eine hohle weiche Stahlnadel von 54,14 Millimeter Länge, bei welcher die Summe der Durchmesser 8,25 Millimeter betrug und die Nadel schon ihren vollen constanten Verlust durch die Wärme erfahren hatte. — Sie brauchte zu 80 Oscillationen bei der Temperatur 0 C. 348″,2; bei 87°—81° C. 369″,6; bei 75°—68° C. 366″; bei 62°—56° C 363″,2. — Dies gibt für 1° C. Temperaturdifferenz 0,001364.

Der Werth von a ist dem Durchmesser cylindrischer solider Nadeln oder der Summe der inneren und äußeren Durchmesser hohler Nadeln proportional. — Die Größe von a nimmt mit der Länge der Nadeln ab. Die absolute Größe von a ist gleich für Nadeln von weichem Stahl, von hartem Stahl und von Eisen. — Dem Gesagten zufolge bestände demnach zwischen der in einer gegebenen Zeit bei der Temperatur t beobachteten Schwingungszahl n einer Magnetnadel und der bei der Temperatur 0 stattfindenden Schwingungszahl k folgende Relation statt:

$$n = k\,(1 - a\,t\,d);$$

wo a einen Coefficienten bedeutet, der sich mit der Länge der Nadel ändert und d den Durchmesser der Nadel darstellt. — Zu erinnern ist jedoch, daß vorstehende Formel nur für solche Nadeln gilt, welche durch wieder-

holtes Erwärmen und Erkaltenlassen gegen einen bleibenden Verlust durch die Wärme geschützt sind.

### 3. Einfluß anderweitiger Umstände auf Erregung des Magnetismus.

Außer der Temperaturveränderung gibt es noch verschiedene andere Umstände, welche die Kraft der Magnete zu modificiren vermögen. — Läßt man einen Magnet längere Zeit hindurch in einer Lage, welche von derjenigen beträchtlich abweicht, in die ihn die Erdkraft zu richten strebt; so verliert er an Intensität. — Durch Stoßen oder Schlagen wird die Kraft des Magnets ebenfalls geschwächt und kann bei starken Erschütterungen selbst gänzlich vernichtet werden. — Man muß Magnete vor Feuchtigkeit schützen, damit sie nicht rostig werden, weil dadurch ihr Magnetismus geschwächt wird. — Wenn mehrere Magnete ohne Ordnung nebeneinander liegen, so wirken sie aufeinander und schwächen sich gegenseitig.

Um solche schädliche Einflüsse aufzuheben, wendet man Armaturen an, d. h. Stücke von weichem Eisen, welche man an die Pole der Magnete legt. — Magnetstäbe armirt man am besten, wenn man zwei gleiche Stäbe parallel so nebeneinander legt, daß der Nordpol des einen nach derselben Seite gerichtet ist wie der Südpol des andern und dann zwei Stücke von weichem Eisen an die Pole legt. — Bei dem magnetischen Magazin werden sämmtliche Magnetstäbe mit ihren gleichnamigen Polen zu einem einzigen Bündel verbunden und durch messingene Bänder zusammengehalten. Die mittleren Stäbe sind etwas länger als die anderen, so daß sie ohngefähr 2 bis 3 Centimeter auf jeder vorstehen; sonst haben die Stäbe vollkommen gleiche Dimensionen. Ein Stück von weichem Eisen bildet die Armatur. — Hufeisenförmige Magnete bestehen aus mehreren mit ihren gleichnamigen Polen aufeinander gelegten hufeisenförmig gebogenen Magnetstäben, welche durch Schrauben von Eisen oder Messing zusammengehalten werden. Dem mittleren pflegt man die größte Länge und Dicke zu geben, die Länge und Dicke der andern aber stufenweise abnehmen zu lassen. Die Armatur bildet wieder ein Stück weiches Eisen, dessen untere Seite flach und obere nach den Polen zu liegende Seite halbcylindrisch gewölbt ist. — Will man einen natürlichen Magnet armiren, so bestimmt man vorerst die Lage seiner beiden Pole. Alsdann schleift man an denselben zwei Flächen, welche senkrecht auf seiner magnetischen Achse stehen, und setzt auf diese Flächen zwei Stücke weichen Eisens, welche durch ein kupfernes Band verbunden werden. Die beiden Fortsätze oder Füße jener zwei Eisenstücke bilden die zwei Pole des Magnetsteins. — Der Stahl, welchen man zu Magneten verwenden will, muß feinkörnig, gleich-

förmig dicht, gleichmäßig hart sein. — Zu geringe Härte ist der Dauer des Magnetismus nachtheilig, zu große Härte thut der Empfänglichkeit für den Magnetismus Nachtrag. Am besten eignet sich zu Magneten derjenige Härtegrad, welchen der gehärtete Stahl erhält, wenn er bis zur blauen Farbe angelassen wird. — Unterbrechungen der Continuität und der Gleichartigkeit benehmen dem Stahle die Empfänglichkeit für starken Magnetismus. — Die Oberfläche soll glatt gefeilt, die Dicke nicht bedeutend, jedoch auch nicht unter 6 Millimeter sein; gut ist es, wenn die Breite ein Mehrfaches seiner Dicke ist. — Glasharter Stahl läßt sich schwer magnetisiren, weil in ihm leicht Folgepunkte entstehen.

Der Aggregatzustand hat Einfluß auf die Erregung des Magnetismus. Eisen in Drahtform vermag die magnetische Kraft eben so gut wie Stahl zu bewahren. — Eisen in der zertheilten Form, in welcher man es durch Reduction aus reinem Eisenoxyd mittelst Wasserstoffgases gewinnt, ist unfähig, den Magnetismus anzunehmen. — Der Verbindungszustand der Körper kommt bei der Erregung des Magnetismus gleichfalls in Betracht. So sind Erze, welche das Eisen blos im höchsten Oxydationszustande enthalten, des Magnetismus nicht fähig; desgleichen sind Schwefeleisen, das weiße Eisenoxydulhydrat nicht magnetisch. — Dagegen besitzen Magnetkies, eine Verbindung des Schwefeleisens und einer höheren Schwefelungsstufe, und das schwarze Eisenoxyduloxydhydrat die magnetische Eigenschaft.

Manche Naturforscher wollen gefunden haben, daß das Licht wie Stahl Magnetismus zu erregen vermöge, namentlich geschehe solches im blauen und violetten Lichte. Moser und Rieß haben jedoch bei ihren mit großer Sorgfalt angestellten Versuchen, bei denen sie aus demselben Drahte verfertigte schwache Magnetnadeln dem Lichte ausgesetzt hatten, wahrgenommen, daß in den Nadeln der Magnetismus theils unverändert blieb, theils verstärkt, theils geschwächt wurde. Da die kleinen Verstärkungen und Schwächungen nicht die mindeste Regelmäßigkeit darboten und überdies die den schwachen Nadeln eigenthümlichen Schwankungen nicht überschritten; so fanden sich genannte Naturforscher berechtigt, die fraglichen Veränderungen der Nadeln als blose zufällige Erscheinungen anzusehen und keineswegs als unmittelbare Wirkungen zu betrachten, welche von einem Magnetisirungsvermögen des Lichtes herrührten.

Bemerkenswerth ist der Einfluß, welchen die Torsion auf den Magnetismus hat. Wertheim, Wiedemann haben diesen Einfluß näher untersucht, welcher mit dem von der Wärme ausgeübten in mehrfacher Uebereinstimmung steht. Eine längst bekannte Thatsache ist es, daß ein Eisendraht unter der Einwirkung des Erdmagnetismus sich andauernd magnetisirt, wenn man ihn einer bedeutenden und andauernden Torsion aussetzt.

Man glaubte die Erscheinung kurzweg dadurch zu erklären, indem man sagte, die Torsion wirke in gleicher Weise wie jede andere mechanische Erschütterung. Bei näherer Untersuchung gestaltet sich die Sache doch anders, da die Torsion hier auf eine ganz specielle Art zur Wirksamkeit zu gelangen scheint. — Denn hat ein Eisenstab den höchsten Grad des Magnetismus angenommen, welchen er unter Einwirkung der Erde zu erlangen vermag; so verliert er bei weiterer Torsion nach der nämlichen Seite wieder ein Theil seines Magnetismus, welchen er in dem Maße wieder gewinnt, als die Drehung nach entgegengesetzter Seite hin vor sich geht. So lange also der magnetische Sättigungszustand in dem Eisenstab nicht eingetreten ist, wirkt die Torsion wie jede mechanische Erschütterung; dagegen wirkt sie auf eine ganz davon verschiedene Weise, wenn jener Sättigungszustand hervortritt.

Wird ein magnetisirter Stahlstab der Torsion unterworfen, so nimmt dessen Magnetismus ab, wie es durch Erwärmen geschieht. Der Verlust erfolgt in einem mit wachsender Drehung abnehmenden Verhältniß; doch hängt derselbe auch von dem ursprünglichen Magnetismus des Stahlstabes ab. — Führt man den gedrehten Stab in seine Gleichgewichtslage zurück, so erleidet er einen noch weiteren Verlust an Magnetismus. — Eine fortgesetzte Drehung nach der nämlichen Seite hin vermindert den Magnetismus nur noch wenig. Dagegen tritt abermals eine starke Verminderung des Magnetismus des Stabes ein, wenn die Drehung nach der entgegengesetzten Seite vor sich geht; indessen schreitet diese Verminderung nicht in gleichem Verhältniß mit der wachsenden Drehung fort. — Wird ein magnetisirter Stahlstab so oft hin und her gedreht, daß sein Magnetismus sich nicht mehr ändert, wenn der Stab jedesmal in seine Gleichgewichtslage zurückgekehrt ist; so bewirkt jede Torsion nach der einen Seite eine Zunahme, jede Torsion nach der andern Seite eine Abnahme. Der Magnetismus des Stabes in der Gleichgewichtslage hält die Mitte der Magnetismen, welche er bei den beiderseitigen Torsionen besitzt.

Wenn ein magnetisirter Stahlstab durch entgegengesetzte Magnetisirung wenig von seinem früheren Magnetismus verloren hat, so verliert er durch die Torsion noch mehr davon; dagegen gewinnt er daran durch die Torsion, wenn ihm vorher viel Magnetismus entzogen worden. Die in solchem Falle hervortretende Zunahme erreicht ein Maximum, von welchem ab bei fortgesetzter Drehung wieder Abnahme stattfindet. Je größer übrigens die Menge des entzogenen Magnetismus war, desto beträchtlicher muß die Drehung sein, bei welcher das Maximum der Zunahme eintritt. Ist der Stab völlig entmagnetisirt, so nimmt er bei der Drehung wieder Magnetismus an, welcher mit wachsender Drehung in einem abnehmenden Verhältniß wächst.

## 4. Tragkraft der Magnete.

Durch wiederholtes Abreißen des Ankers von hufeisenförmigen Magneten wird deren Tragkraft bis zu einem gewissen Grad geschwächt, worauf denn bei weiterem Abreißen des Ankers die Tragfähigkeit constant bleibt. Ueber die constante Tragkraft dergleichen Magnete hat Häcker zahlreiche Versuche angestellt und ist dabei zu folgender Formel: $P = a \sqrt[3]{Q^2}$ gelangt, in welcher P die Tragkraft des Hufeisenmagneten bezeichnet, Q dessen Gewicht und a ein constanter Factor ist. Das Tragvermögen steht demnach im directen Verhältniß zu dem Quadrat der Cubikwurzel des Gewichtes. Der Coefficient drückt das Tragvermögen eines Magnets aus, dessen Gewicht der Gewichtseinheit gleich kommt; man könnte ihm den Namen „das Tragverhältniß“ beilegen. Das Tragverhältniß ändert sich mit der Beschaffenheit der Stahlsorte, mit dem Grade der Härtung und ihrer Bearbeitung. — Für $P = Q$ wird $a = \sqrt[3]{P}$, d. h. das Gewicht des Magnets, der eben so viel trägt als er schwer ist, mit dem Cubus von a übereinstimmt. — Es wäre wünschenswerth, wenn für mehrere Stahlsorten der Werth von a genau ermittelt würde. Bei einem Hufeisenmagnet von 460 Grammes fand man eine Tragkraft von 13 Kilogrammes; daraus ergibt sich für Kilogrammes das Tragverhältniß $p = 21{,}8$. Bei einem andern Hufeisenmagnet von 2 Kilogrammes erhielt man ebenfalls eine Tragkraft von 13 Kilogrammes; hieraus entspringt das Tragverhältniß $a = 8{,}18$. Der erstere Magnet war also stärker magnetisch als der zweite.

Hufeisenmagnete, welche bei gleichem Gewichte gleiches Tragvermögen besitzen, haben auch gleiches Tragverhältniß oder gleiches magnetisches Verhalten. — Bei zwei Magneten von gleichem magnetischen Verhalten stehen die dritten Potenzen der Tragkräfte der Magnete in demselben Verhältnisse wie die Quadrate der Gewichte der Magnete. — Bei zwei Magneten von ungleicher magnetischer Beschaffenheit, aber von gleichem Gewichte verhalten sich die Tragvermögen wie die Tragverhältnisse. — Bei zwei Magneten von ungleicher magnetischer Beschaffenheit, aber von ungleichem Tragvermögen verhalten sich die Tragverhältnisse umgekehrt wie die Cubikwurzeln aus den Quadraten ihrer Gewichte.

Dem durch die angegebene Formel ausgedrückten Gesetze gemäß ist die Tragkraft eines aus n Lamellen zusammengesetzten Magnets nicht n mal, sondern nur $\sqrt[3]{n^2}$ mal größer als die jeder einzelnen Lamelle. Fünf Lamellen, deren jede eine Tragkraft von 2,072 Kilogrammes hatte, erhielten zu einem einzigen Magnete vereinigt nur eine Tragkraft von 5,88 Kilogrammes, während die der Summe der Tragkräfte der einzelnen Lamellen 10,36 Kilogrammes und die nach der Formel $P = 2{,}072 \sqrt[3]{5^2}$ berechnete Tragkraft 6,05 Kilogrammes beträgt.

Was die Tragkraft eines Poles anlangt, so läßt sich dieselbe gleichfalls nach der Formel $P = a \sqrt[3]{Q^2}$ berechnen. Doch beträgt im letzteren Falle der Coefficient a weniger als die Hälfte des Werthes, welcher bei der Berechnung der gesammten Tragkraft eines Hufeisenmagnets einzuführen ist. — Dieses Resultat ließ sich voraussehen, indem ein Hufeisenmagnet, dessen beide Pole durch einen Anker verbunden sind, weit mehr als das Doppelte von dem trägt, was jeder einzelne Pol für sich zu tragen vermag. — Im Uebrigen ist über das Verhältniß der Tragkraft eines Pols und der gesammten Tragkraft eines Hufeisenmagnets bis jetzt noch nichts Bestimmtes aufgestellt worden.

# Zweite Abtheilung.

# Der zweite Theil der dynamischen Elektricität und die Thermoelektricität nebst dem Diamagnetismus.

## Erster Abschnitt.

## Elektromagnetismus und Elektrodynamik.

### I. Wirkung elektrischer Ströme auf Magnete. (Elektromagnetismus.)

#### 1. Oersted's Entdeckung. — Wirkung eines geradlinigen Stroms auf die Magnetnadel. — Wirkung eines kreisförmigen Stroms auf dieselbe. — Rotation der Magnete unter dem Einflusse elektrischer Ströme.

Im Jahre 1820 machte der Physiker Oersted die Entdeckung, daß die Magnetnadel durch den elektrischen Strom eine Ablenkung erleidet, und legte damit den Grund zu einem neuen Theile der Elektricitätslehre, welcher den Namen Elektromagnetismus führt. Derselbe umfaßt die Gesammtheit der Erscheinungen, welche auf der Wechselwirkung zwischen elektrischen Strömen und Magneten beruhen; die Erscheinungen selbst nennt man elektromagnetische. — Um den Oersted'schen Fundamentalversuch anzustellen, lasse man einen elektrischen Strom durch einen im magnetischen Meridian horizontal ausgespannten Kupferdraht gehen, über welchem eine unter dem Einflusse des Erdmagnetismus in horizontaler Stellung ruhende und nach allen Richtungen um ihren Aufhängepunkt leicht bewegliche Magnetnadel sich befindet. — Fließt nun der Strom von Süd nach Nord, so bewegt sich die Nadel in der Horizontalebene und nimmt eine neue Lage des Gleichgewichtes an, dergestalt, daß ihr Nordpol nach Ost abgelenkt wird. Wie der Strom aufhört, kehrt auch die Nadel wieder in ihre frühere durch den Erdmagnetismus bestimmte Gleichgewichtslage zurück. Gibt man im Gegentheil dem Strome die Richtung von

Nord nach Süd, so stellt sich der Nordpol westlich vom Strome. — Wenn man den Kupferdraht in der Ebene des magnetischen Meridians, aber oberhalb der Nadel ausspannt; so erfährt die Nadel in der Horizontalebene eine Ablenkung und zwar nach einer Richtung, die derjenigen entgegengesetzt ist, welche sie über dem Schließungsdrahte erhalten hatte.

Die Einwirkung des elektrischen Stromes auf die Magnetnadel zielt dahin, dieselbe in eine auf den elektrischen Strom senkrechte Ebene zu bringen. Denn die Nadel kommt dieser Lage um so näher, je stärker der elektrische Strom ist und je weniger die Nadel von dem Schließungsdrahte absteht. — Auch verharrt die Declinationsnadel in ihrer ursprünglichen Gleichgewichtslage, wenn sie über einem Stromleiter sich befindet, in welchem der Strom von Ost nach West geht. Dasselbe ereignet sich, wenn der Stromleiter oberhalb der Nadel ausgespannt ist und der Strom von West nach Ost sich bewegt. Die Nadel beharrt vielmehr in dem einen wie in dem andern Falle mit größerer Stabilität in ihrer Gleichgewichtslage; denn sie schwingt unter dem Einflusse des elektrischen Stromes rascher als unter der blosen Einwirkung der horizontalen Componente des Erdmagnetismus. — Dieses Bestreben des elektrischen Stromes, die Nadel in eine gegen seine Richtung senkrechte Stellung zu bringen, gibt sich ebenfalls bei einer astatischen Nadel zu erkennen, d. h. bei einer Nadel, welche der Richtkraft des Erdmagnetismus entzogen ist. — Der elektrische Strom übt demnach auf die Magnetnadel eine richtende Kraft aus, welche die Nadel in eine auf den Leitungsdraht senkrechte Stellung zu bringen sucht, ohne auf den einen Pol einen stärkeren Einfluß als auf den andern zu äußern.

Bringt man die Nadel seitwärts neben dem Schließungsdrahte an, so erfährt sie unter dem Einflusse des Stromes eine Ablenkung im verticalen Sinne. Steht die Nadel an der Ostseite des Polardrahtes, so erfährt sie unter der Einwirkung des Stromes eine Ablenkung im verticalen Sinne. Steht die Nadel an der Ostseite des Polardrahtes, so wird ihr Nordpol herabgezogen; dagegen dieser Pol erhöht, wenn sie sich an der Westseite des Drahtes befindet, vorausgesetzt, daß der Strom in dem einen wie in dem andern Falle von Süd nach Nord geht. Die Ablenkung erfolgt im umgekehrten Sinne, wenn der Strom von Nord nach Süd sich bewegt. — Auch der vertical gerichtete Strom bewirkt an der Nadel eine Ablenkung, deren Richtung bei aufsteigendem Strome entgegengesetzt ist der Richtung bei absteigendem Strome. Die Drehung erfolgt ebenfalls im umgekehrten Sinne, wenn der Leitungsdraht südlich von der Nadel ausgespannt ist, im Vergleich zu der Drehung, welche die Nadel befolgt, wenn der Leitungsdraht dem Nordpol derselben gegenübersteht. — Die Inclinationsnadel hat gleichfalls das Bestreben in der Nähe eines gerad-

linigen Stromes sich aus der Ebene des magnetischen Meridians zu entfernen und sich kreuzweis gegen die Richtung des Stromes zu stellen. Geht der Strom parallel mit der Inclinationsnadel an der Ostseite derselben vorüber, so entfernt sich der Nordpol von dem Erdboden oder nähert sich diesem, je nachdem der Strom von Süd nach Nord oder von Nord nach Süd fließt. Die Bewegungen der Nadel geschehen im umgekehrten Sinne, wenn der Leitungsdraht parallel mit seiner früheren Lage an der Westseite der Nadel vorbeigeführt wird. — Steht der Leitungsdraht senkrecht auf der Ebene des magnetischen Meridians und fließt der Strom von Ost nach West dem Nordpole gegenüber, so erhebt sich dieser Pol; dagegen senkt er sich, wenn der Strom von West nach Ost geht. Die Ablenkungen der Nadel erfolgen im entgegengesetzten Sinne, wenn der Strom parallel mit seiner vorigen Lage dem Südpole gegenüber vorbeigeführt wird.

Anfangs hat es schwer gehalten, mit wenigen Worten die Beziehungen zwischen der Richtung des Stromes und der Richtung der Ablenkung anzugeben. Ampère hat diese Schwierigkeiten vermittelst einer einfachen Regel in folgender Weise zu beseitigen gewußt. — Man denkt sich eine kleine menschliche Figur in den Strom dergestalt eingeschaltet, daß derselbe in ihr von den Füßen zu dem Kopfe geht: wenn nun diese Figur das Gesicht der Nadel zukehrt, so weicht der Nordpol der Nadel immer gegen die linke Seite der Figur hin ab. — Befindet sich die Nadel über dem Leitungsdraht und fließt der Strom von Süd nach Nord, so sind die Füße der Figur nach Süden und der Kopf nach Norden gekehrt; die Figur muß auf dem Rücken liegen, wenn ihr Gesicht der Nadel zugewendet sein soll: bei dieser Lage der Figur ist ihre linke Seite die östliche. Wenn der Strom in derselben Richtung über der Nadel herfließt, so muß die Figur auf dem Leibe liegen, wenn sie ihr Gesicht der Nadel zuwendet: ihre linke Seite ist alsdann die westliche. — Die Richtung der Ablenkung bei dem vertical gerichteten Strome wird ebenfalls nach der Ampère'schen Regel bestimmt. Man hat sich nur die vertical stehende Figur dem Nordende zugekehrt vorzustellen, wobei für den aufsteigenden Strom die Figur auf den Füßen, für den niedergehenden aber auf dem Kopfe steht.

Die Wirkung eines geradlinigen elektrischen Stromes auf die Magnetnadel zeigt sich um so schwächer, je weiter die Nadel von dem Schließungsdrahte entfernt ist. Biot und Savart haben zuerst auf experimentalem Wege das Gesetz bestimmt, nach welchem die von dem Schließungsdrahte ausgehende Kraft mit der Entfernung des Magnets von dem Leiter abnimmt. Zu diesem Behufe ward ein kleiner Magnet an einem Coconfaden horizontal aufgehängt und durch einen in seiner Nähe aufgestellten festen

Magnetstab der richtenden Kraft des Erdmagnetismus entzogen. Dem in den Indifferenzzustand versetzten Magnete wurde ein verticaler Leitungsdraht von vier Meter Länge in verschiedenen Entfernungen genähert. Unter der Einwirkung des Stromes nahm der bewegliche Magnet eine solche Lage an, daß seine Achse auf der kürzesten Entfernung der Mitte des Magnets von dem Leiter senkrecht stand. Hierauf wurde der Magnet aus dieser Lage des Gleichgewichts entfernt und die Zeitdauer gemessen, welche die Nadel zu zehn Oscillationen brauchte, wenn sie in verschiedenen Entfernungen vom Schließungsdrahte sich befand. — Einige von den Resultaten, welche sie bei ihren Versuchen auf diese Weise erhielten, sind folgende:

| Abstände der Mitte der Nadel vom Drahte. | Dauer von zehn Oscillationen. |
|---|---|
| 30 Millimeter | 42,25 Secunden |
| 40 „ | 48,85 „ |
| 50 „ | 54,75 „ |
| 60 „ | 56,75 „ |

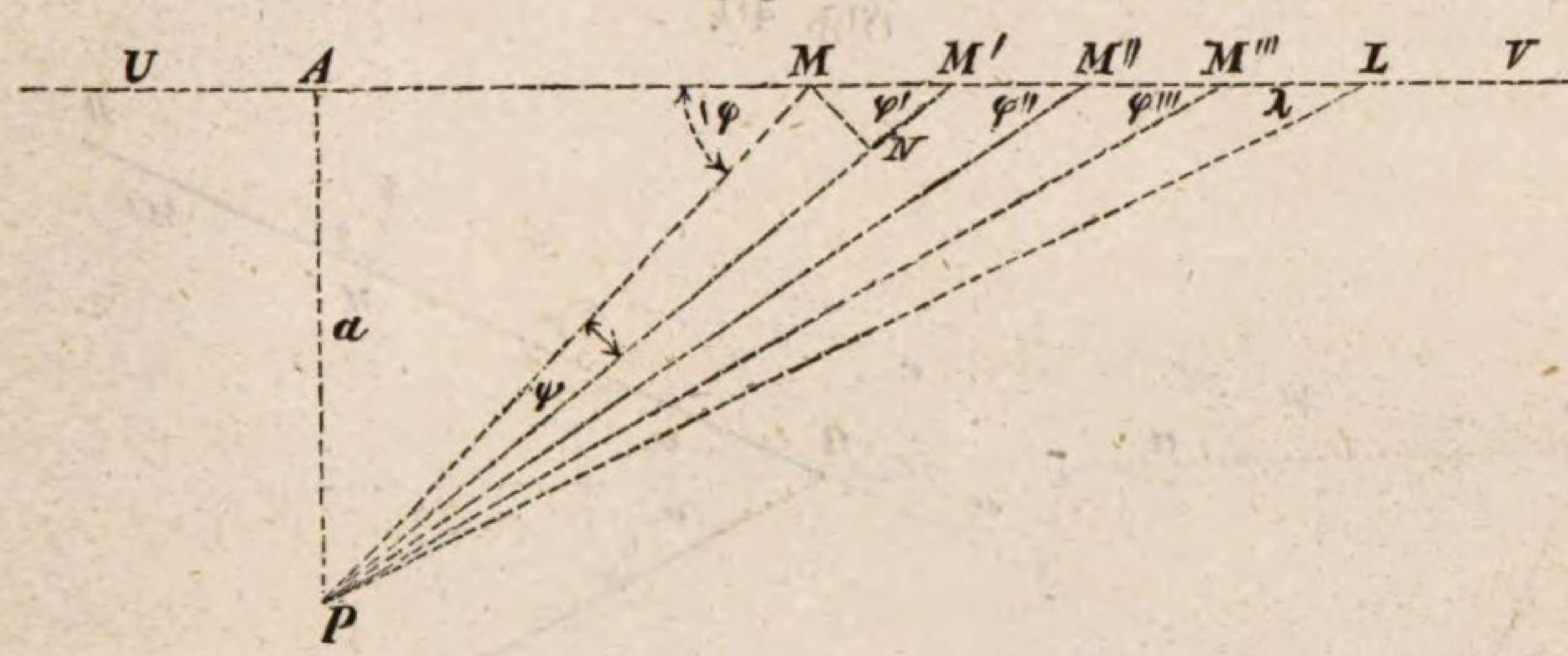
Aus denselben geht hervor, daß die Gesammtwirkung auf irgend ein magnetisches Element sich umgekehrt wie der geradlinige Abstand dieses Elementes vom Drahte verhält. Denn die Differenzen zwischen den Beobachtungen und den nach der Formel $\frac{n'^2}{n^2} = \frac{r'}{r}$ berechneten Werthen der Schwingungsdauer, wo n und n′ die Secundenzahlen, r und r′ die Abstände für zwei verschiedene Beobachtungen bedeuten, sind abwechselnd positiv und negativ, ohne ein bestimmtes Gesetz; auch werden sie für die größeren Abstände merklicher als für die kleineren. Dieses Resultat ließ sich erwarten, da der Mangel an vollständiger Compensation der Erdkraft bei größeren Entfernungen mehr hervortreten mußte als bei kleinen. — Biot und Savart haben ferner statt des geradlinigen Leitungsdrahtes einen winkelförmig gebogenen Leiter angewendet, wobei der Mittelpunkt des Magnets auf der horizontalen Halbirungslinie des Winkelstromes außerhalb desselben lag. Indem sie auf dieselbe Weise wie vorhin verfuhren, fanden diese Beobachter, daß die von dem winkelförmigen Strom auf einen Magnet ausgeübte Wirkung wieder im umgekehrten Verhältnisse der Entfernung des Magnets vom Scheitel des Winkels und außerdem proportional der Tangente der Hälfte des Winkels sich ändert, welchen der Strom mit der horizontalen Halbirungslinie bildet.

Jene Beobachter fanden weiter, daß, wenn der Strom durch Röhren und Streifen geht, deren Oberflächen sich durch gerade parallele Linien gebildet betrachten lassen, er auf die Magnetnadel die nämliche Wirkung äußert wie ein durch einen ihrer Länge parallelen Metalldraht geleiteter Strom. — Endlich haben sie wahrgenommen, daß die Wirkung des Stromes auf die Magnetnadel durch alle nicht magnetischen Substanzen hindurch

erfolgt. — Der elektrische Strom zeigt sich wirkungslos auf Kupfernadeln und äußert blos auf solche Substanzen einen Einfluß, die entweder schon magnetisch oder doch fähig sind, es durch Vertheilung zu werden, was abermals darauf hinweist, daß die in Rede stehenden Erscheinungen magnetischer Natur sind. — Dieselben finden übrigens nicht blos bei dem Kupfer, sondern bei allen vom Strom durchlaufenen Metallen statt. Der elektrische Strom verleiht daher allen Metallen den Magnetismus; er ertheilt ihnen jedoch solchen nur vorübergehend, so lange er sie nämlich durchwandert.

Die beiden von Biot und Savart auf experimentellem Wege gefundenen Gesetze ergeben sich als einfache Folgerungen, wenn man von der Annahme ausgeht, daß die Wirkung eines Stromelementes auf ein magnetisches Theilchen senkrecht gegen die Ebene erfolgt, in welcher beide liegen; und daß dies mit einer Kraft geschieht, welche sich direct verhält wie die Länge des Stromelementes, ferner direct wie der Sinus des Winkels, den die Richtung des Stromes mit der Verbindungslinie des magnetischen Theilchens und der Mitte des Stromelementes bildet, und endlich verkehrt wie das Quadrat der Entfernung des magnetischen Theilchens von der Mitte des Stromelementes. — Um dies nachzuweisen, sei erstens UV (Fig. 39) der geradlinige Stromleiter, P der Magnetpol, MM′ ein be-

Fig. 39.




liebiges Stromelement. Man ziehe PM, PM′, beschreibe aus P mit dem Halbmesser PM den Bogen MN und fälle aus P auf UV die Senkrechte PA; und setze $PA = a$, ferner Winkel $AMP = \varphi$, $AM'P = \varphi'$ und $MPM' = \Psi$. Die Elementarwirkung f des Stromtheilchens $MM' = ds$ auf das magnetische Theilchen P wird nach dem angenommenen Gesetze durch die Formel $f = \frac{\mu \varrho\, ds \,.\, \sin\varphi}{PM^2}$ ausgedrückt, in welcher $\mu$ die Intensität des magnetischen Theilchens und $\varrho$ die Stromstärke bezeichnet. Die Aehnlichkeit der Dreiecke MM′N und APM gibt

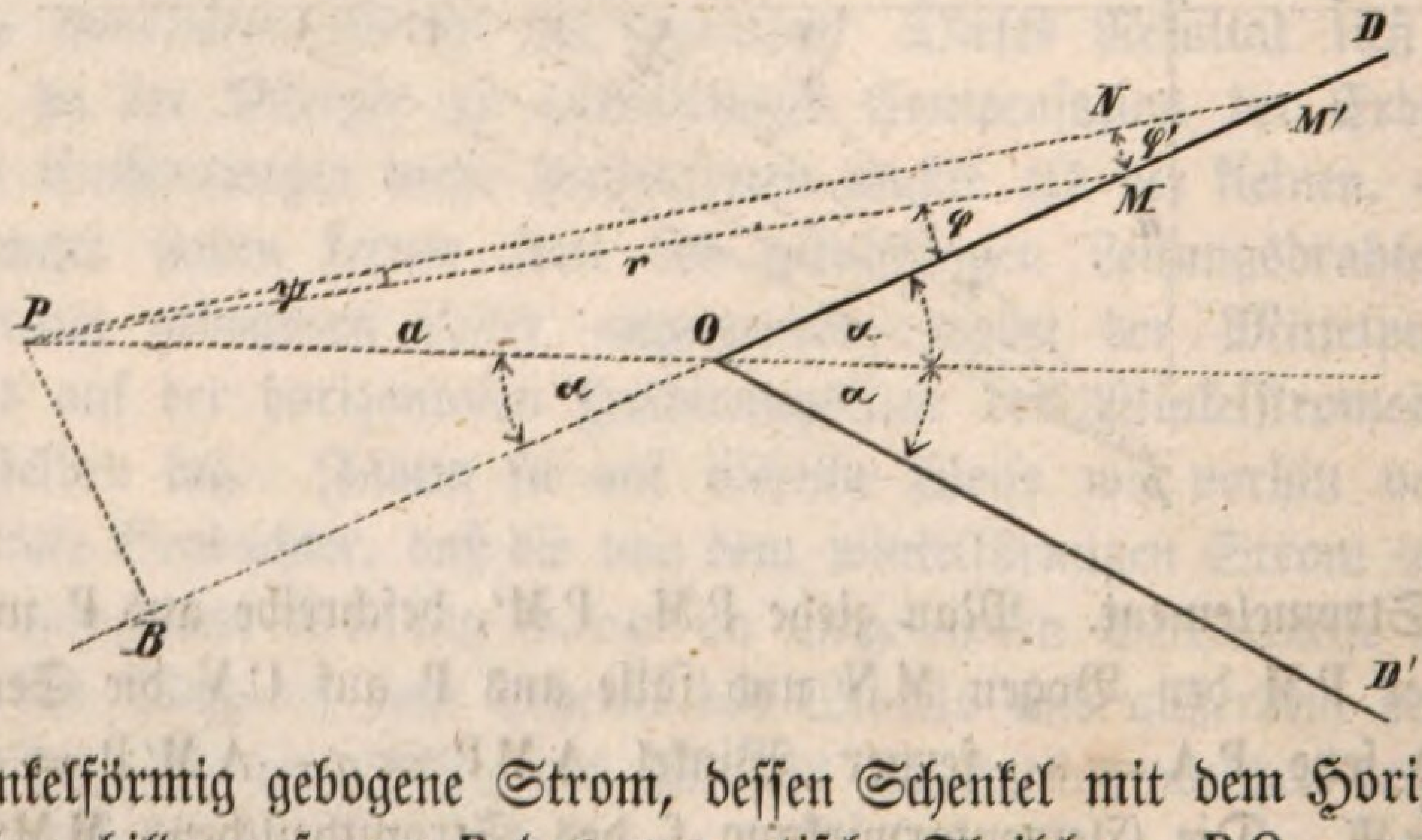
$$MM' = \frac{MN \,.\, PM}{AP} = \frac{PM^2 \,.\, \Psi}{a},$$

weil MN = PM . $\Psi$. Dadurch entsteht $f = \frac{\mu \varrho}{a} . \Psi \sin \varphi$. Nun ist $\varphi' = \varphi - \Psi$; daher $\cos \varphi' = \cos(\varphi - \Psi) = \cos \varphi + \Psi \sin \varphi$, weil wegen der unendlichen Kleinheit von $\Psi$ man $\cos \Psi = 1$ und $\sin \Psi = \Psi$ setzen darf. Demnach ist $f = \frac{\mu \varrho}{a}(\cos \varphi' - \cos \varphi)$. Die auf MM' unmittelbar folgenden Stromtheilchen M'M", M"M''' .... geben für die Elementarwirkungen f', f" ...., welche sie auf P ausüben, die Ausdrücke:

$$f' = \frac{\mu \varrho}{a}(\cos \varphi'' - \cos \varphi'), \quad f'' = \frac{\mu \varrho}{a}(\cos \varphi''' - \cos \varphi''),$$

wenn wir die Winkel AM"P, AM'''P .... mit $\varphi''$, $\varphi'''$ u. s. w. bezeichnen. — Hieraus entspringt für die Wirkung eines geradlinigen Stromstückes ML, wenn für den Endpunkt L der Werth von $\varphi$ gleich $\lambda$ ist, der Ausdruck: $F = \frac{\mu \varrho}{a}(\cos \lambda - \cos \varphi)$. Lassen wir den Punkt M nach A rücken und den Punkt L in das Unendliche hinaus, so wird $\cos \lambda = 1$ und $\cos \varphi = 0$. Hiernach ergibt sich für den Ausdruck F der Kraft, welche der Stromtheil von A gegen V hin auf P ausübt: $F = \frac{\mu \varrho}{a}$; und für die Wirkung eines auf beiden Seiten von A ins Unendliche gehenden Stromes, den Ausdruck: $F = \frac{2 \mu \varrho}{a}$, welcher das eine der von Biot und Savart gefundenen Gesetze enthält. — Es sei zweitens DOD' (Fig. 40)

Fig. 40.




der winkelförmig gebogene Strom, dessen Schenkel mit dem Horizonte den Winkel $\alpha$ bilden; ferner P das magnetische Theilchen, PO = a die Entfernung desselben vom Scheitel O des Winkels DOD'; weiter PM = r die veränderliche Entfernung des magnetischen Theilchens von der Mitte M eines Elementartheilchens ds; endlich der Winkel PMO = $\varphi$, der Winkel PM'O = $\varphi'$. Die Elementarwirkung f von ds auf das magnetische Theilchen P hat zum Ausdrucke: $f = \frac{\mu \varrho \, ds \sin \varphi}{r^2}$. Nun ist das von P auf OD gefällte Perpendickel PB gleich $a \sin \alpha$ und der aus P mit dem

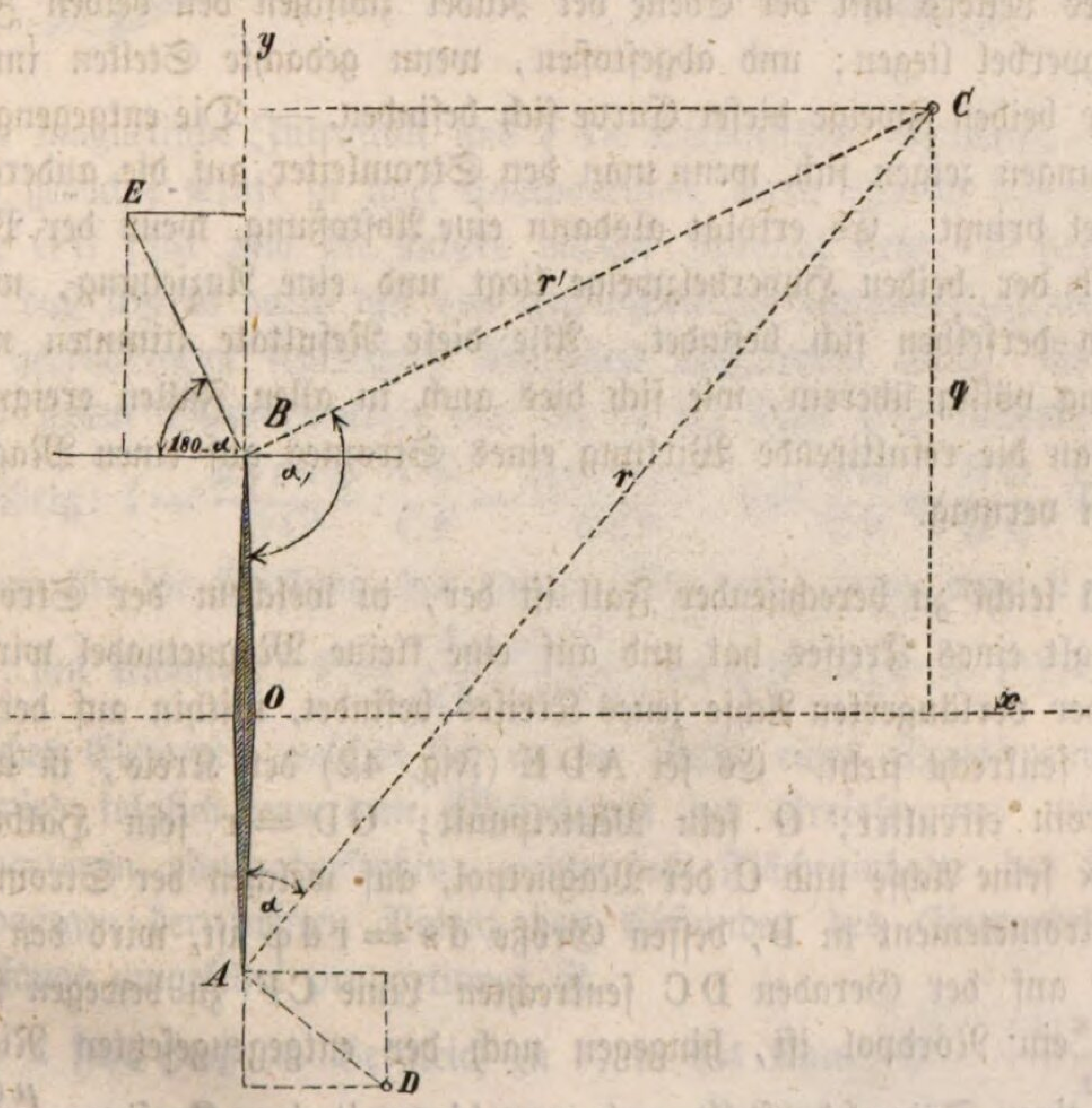
Halbmesser PM = r beschriebene Bogen MN = r$\Psi$, wo $\Psi$ den Winkel M′PM bezeichnet. Die Aehnlichkeit der Dreiecke MM′N und PBM′ liefert die Proportion: MM′ : NM = PM′ : PB, woraus $ds = \frac{r^2 \Psi}{a \sin \alpha}$. Hieraus entspringt: $f = \frac{\mu \varrho}{a \sin \alpha} \Psi \sin \varphi$. Es ist aber wieder $\Psi \sin \varphi = \cos \varphi' - \cos \varphi$; folglich $f = \frac{\mu \varrho}{a \sin \alpha} (\cos \varphi' - \cos \varphi)$. Daraus ergibt sich für die von dem Schenkel OD des Stromes auf das magnetische Theilchen ausgeübte Wirkung der Ausdruck: $F = \frac{\mu \varrho}{a \sin \alpha} (1 - \cos \alpha)$; folglich für die Gesammtwirkung des Winkelstromes der Ausdruck:

$$F = \frac{2 \mu \varrho}{a \sin \alpha} (1 - \cos \alpha) = \frac{2 \mu \varrho}{a} \operatorname{tang} \tfrac{1}{2} \alpha,$$

welcher mit dem zweiten der von Biot und Savart aufgestellten Sätze identisch ist und den ersteren wieder gibt, wenn man $\alpha = 90^0$ setzt.

Wir können uns nun auch Rechenschaft von den Anziehungen und Abstoßungen ablegen, welche Ströme in gewissen Lagen auf Magnetnadeln ausüben. Ein solcher Fall ist der in der Figur 41 dargestellte. Es sei AB eine Declinationsnadel, deren Achse AB wir zur Achse der y und

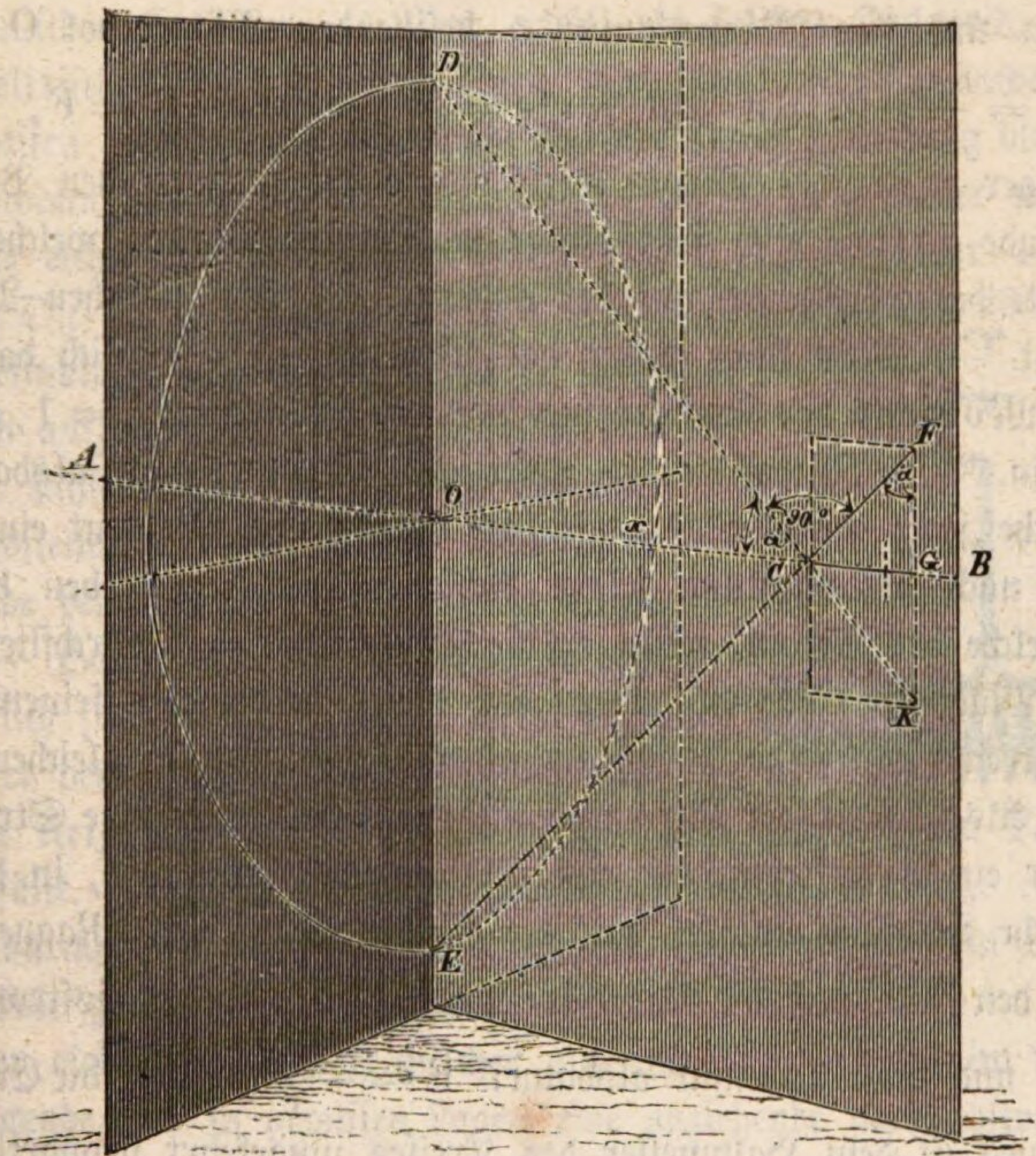
Fig. 41.



die durch die Mitte O von AB darauf errichtete Senkrechte zur Achse der x nehmen wollen; ferner C die Stelle, wo der auf der Ebene der Nadel senkrecht stehende Leiter die Ebene der Nadel schneidet. Es seien x und y die Coordinaten des Punktes C, r und r′ die Entfernungen CA und CB, $\alpha$ und $\alpha'$ die Winkel CAB und CBA, und $AB = 2l$. Die Wirkung des geradlinigen als unbegrenzt angesehenen Stromes auf den Pol wird durch $\frac{2\mu\varrho}{r}$ ausgedrückt, wo $\varrho$ von der Intensität des Stromes und $\mu$ von der Stärke des Magnets abhängt. Jene Wirkung erfolgt in der auf CA senkrechten Richtung AD, deren zu Ox parallel laufende Componente gleich $\frac{2\mu\varrho}{r}\cos\alpha$ die Nadel gegen den Leiter des Stromes zu bewegen strebt. Ebenso gibt die nach BE senkrecht auf CB gerichtete Kraft eine nach Ox parallele Componente gleich $\frac{2\mu\varrho}{r'}\cos\alpha'$. — Die Nadel wird folglich gegen den Leiter des Stromes angezogen von einer Kraft $= 2\mu\varrho\left(\frac{\cos\alpha}{r} + \frac{\cos\alpha'}{r'}\right) = \frac{2\mu\varrho l}{r^2 r'^2}(x^2 - y^2 + l^2)$. — Für alle Punkte, deren Gleichung $x^2 - y^2 + l^2 = 0$ ist, die mithin einer gleichseitigen Hyperbel angehören, welche A und B zu Scheiteln hat, wird die Nadel in Ruhe verharren; dagegen angezogen, wenn die Durchschnittsstellen des Leiters mit der Ebene der Nadel zwischen den beiden Zweigen jener Hyperbel liegen; und abgestoßen, wenn gedachte Stellen innerhalb eines der beiden Zweige dieser Curve sich befinden. — Die entgegengesetzten Erscheinungen zeigen sich, wenn man den Stromleiter auf die andere Seite der Nadel bringt. Es erfolgt alsdann eine Abstoßung, wenn der Punkt C außerhalb der beiden Hyperbelzweige liegt und eine Anziehung, wenn er innerhalb derselben sich befindet. Alle diese Resultate stimmen mit der Erfahrung völlig überein, wie sich dies auch in allen Fällen ereignet, in denen man die resultirende Wirkung eines Stromes auf einen Magnet zu berechnen vermag.

Ein leicht zu berechnender Fall ist der, in welchem der Stromleiter die Gestalt eines Kreises hat und auf eine kleine Magnetnadel wirkt, die sich in der verlängerten Achse jenes Kreises befindet, mithin auf der Ebene desselben senkrecht steht. Es sei ADE (Fig. 42) der Kreis, in welchem der Strom circulirt; O sein Mittelpunkt; $OD = r$ sein Halbmesser; $OC = x$ seine Achse und C der Magnetpol, auf welchen der Strom wirkt. Das Stromelement in D, dessen Größe $ds = r\,d\varphi$ ist, wird den Pol C nach der auf der Geraden DC senkrechten Linie CF zu bewegen streben, wenn C ein Nordpol ist, hingegen nach der entgegengesetzten Richtung, wenn C einen Südpol darstellt, und zwar dies mit einer Kraft $= \frac{\mu\varrho r\,d\varphi}{\overline{DC}^2}$,

Fig. 42.




wo $\mu$ die magnetische Intensität und $\varrho$ die Stromstärke bezeichnet. — Zerlegt man gedachte Kraft in zwei Componenten, deren eine in die Richtung der Achse O C fällt und die andere darauf senkrecht steht; so sieht man bald ein, daß letztere durch den von dem diametral gegenüberliegenden Element E herrührenden senkrechten Krafttheil aufgehoben wird. Es bleibt daher bei jedem Stromelemente nur die in die Achse C O fallende Componente übrig: $f = \frac{\mu \varrho r d\varphi}{DC^2} \cdot \frac{CG}{CF} = \frac{\mu \varrho r^2 d\varphi}{DC^3}$, weil $\frac{CG}{CF} = \frac{DO}{DC}$. Daraus erhält man für die Wirkung des ganzen Stromes, wenn man $2\pi$ statt $d\varphi$ setzt, den Ausdruck: $F = \frac{2\pi \mu \varrho r^2}{(x^2 + r^2)^{3/2}}$, da $CD = (x^2 + r^2)^{1/2}$. Ein magnetisches Element, welches sich in der Achse eines Kreisstromes befindet, wird folglich von dem Mittelpunkt des Kreisstromes mit einer **Kraft** angezogen oder abgestoßen, welche dem Flächeninhalte des Kreises **direct**, dagegen der dritten Potenz des Abstandes des Elementes vom **Kreisumfange** umgekehrt proportional ist.

Ist x sehr groß im Vergleich zu r, so hat man: $F = \frac{2\pi r^2 . \mu \varrho}{x^3}$. Ein kurzer mit dem magnetischen Momente M begabter Magnet, dessen

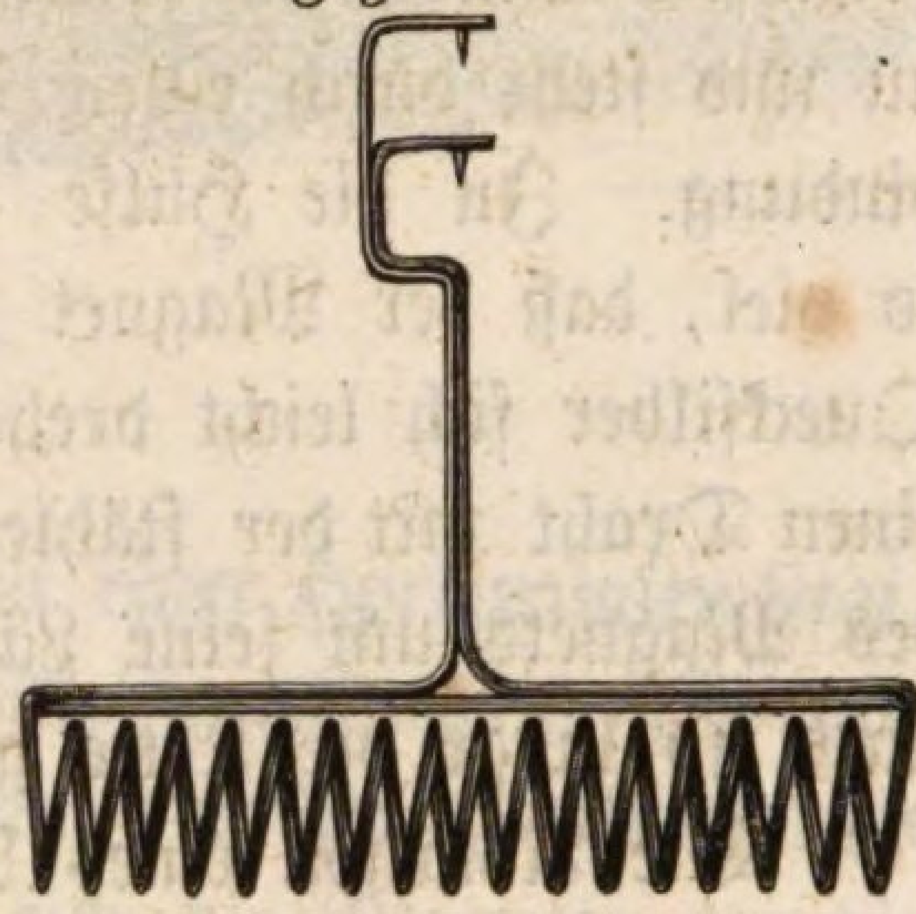
Mitte in O ist, wirkt nun auf einen in der Verlängerung seiner Achsen befindlichen und den Magnetismus $\mu$ besitzenden Magnetpol O mit der Kraft: $R = \frac{2\mu M}{x^3}$. Ist jetzt $\pi r^2 \varrho = M$, so wird $R = F$, d. h. ein kreisförmiger elektrischer Strom wirkt auf einen magnetischen Pol in der Ferne gerade so wie eine sehr dünne magnetische Platte, welche auf der einen Seite den nördlichen, auf der andern Seite den südlichen Magnetismus besitzt. — Man kann daher das Produkt $\pi r^2 \varrho$ füglich das magnetische Moment des Kreisstromes nennen. Wäre $\pi r^2 = 1$, so würde $\varrho = M$ sein. Die Intensität des elektrischen Stromes wird alsdann durch die nämliche Zahl ausgedrückt, wie das magnetische Moment eines Magnets, der nach der Richtung seiner Achse in die Ferne eben die Kraft äußert, welche der Strom, wenn er die Kreisfläche = 1 durchfließt, gegen denselben Magnetpol ausübt, wenn sich dieser in der von seinem Mittelpunkte senkrecht auf seine Ebene ausgehenden Geraden in gleicher Distanz befindet. Als Einheit der Stromintensität gilt dann diejenige Stromstärke, bei welcher ein Kreisstrom, der eine Flächeneinheit umfließt, in die Ferne die nämliche Wirkung ausübt, wie die Einheit des freien Magnetismus.

Für den Fall, daß die Nadel im Mittelpunkte des Kreisstromes liegt, ist $x = 0$ und man bekommt alsdann: $F = \frac{2\pi\mu\varrho}{r}$, d. h. die Einwirkung des Stromes ist dem Halbmesser des Kreises umgekehrt proportional. — Eine derartige Nadel wird zugleich von der horizontalen Componente H des Erdmagnetismus mit einer Kraft $H\mu$ in den magnetischen Meridian zurückgetrieben und dadurch genöthigt, eine neue Position anzunehmen. Bezeichnet w den Winkel, um welchen sie von dem magnetischen Meridian abgelenkt wird; so ist das Verhältniß der beiden Kräfte F und $\mu H$ gleich der Tangente des Ablenkungswinkels, d. h. es ist $\tang w = \frac{F}{H\mu} = \frac{2\pi\varrho}{rH}$; woraus $\varrho = \frac{r \tang w}{2\pi} . H$. — Wenn der absolute Werth von H bekannt ist, so läßt sich die Stromstärke $\varrho$ auf ein absolutes Maß zurückführen. Für $r = 100$, $w = 45^0$ kommt $\varrho = 15{,}9\,H$, d. h. ein Strom, welcher die Magnetnadel um $45^0$ von ihrer Gleichgewichtslage ablenkt, übt eine 15,9 mal stärkere Wirkung aus als die horizontale Componente des Erdmagnetismus.

Eine Reihe nahe aneinander liegender gleicher Kreise, deren Mittelpunkte in einer geraden Linie liegen und durch welche elektrische Ströme in einerlei Richtung fließen, ist daher einem System nahe aneinander gelegter sehr dünner magnetischer Platten gleich zu achten, die auf der einen Seite mit nördlichem, auf der andern Seite mit südlichem Magnetismus begabt zusammen wie ein Magnetstab zu betrachten sind. Ampère nennt

ein derartiges System elektrischer Ströme ein Solenoid oder einen elektrodynamischen Cylinder. — Man erhält ein solches Solenoid, wenn man einen elektrischen Strom durch einen schraubenförmig gewundenen Draht leitet, dessen beide Enden der einen Seite entlang geradlinig bis zur mittleren Windung zurückkehren, von wo sie parallel zu einander und senkrecht gegen die Achse der Windungen weiter gehen, wie es Figur 43 ersichtlich macht. Die an den Endpunkten des Solenoids befindlichen Spitzen gestatten es leicht beweglich aufzuhängen, daß es sich um eine verticale Achse drehen kann. An den Berührungsstellen sind die leitenden Drahttheile mit Seide bewickelt oder auf sonstige Weise isolirt. — Hängt man das Solenoid so auf, daß es sich frei bewegen kann; so stellt es sich unter dem Einflusse des Erdmagnetismus der Art, daß die Schraubenachse mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt. — Zugleich verhält sich das Solenoid, so lange es von Elektricität durchströmt wird, einem Magnete gegenüber wie ein Magnetstab, dessen Pole genau an seinen Enden liegen.

Fig. 43.



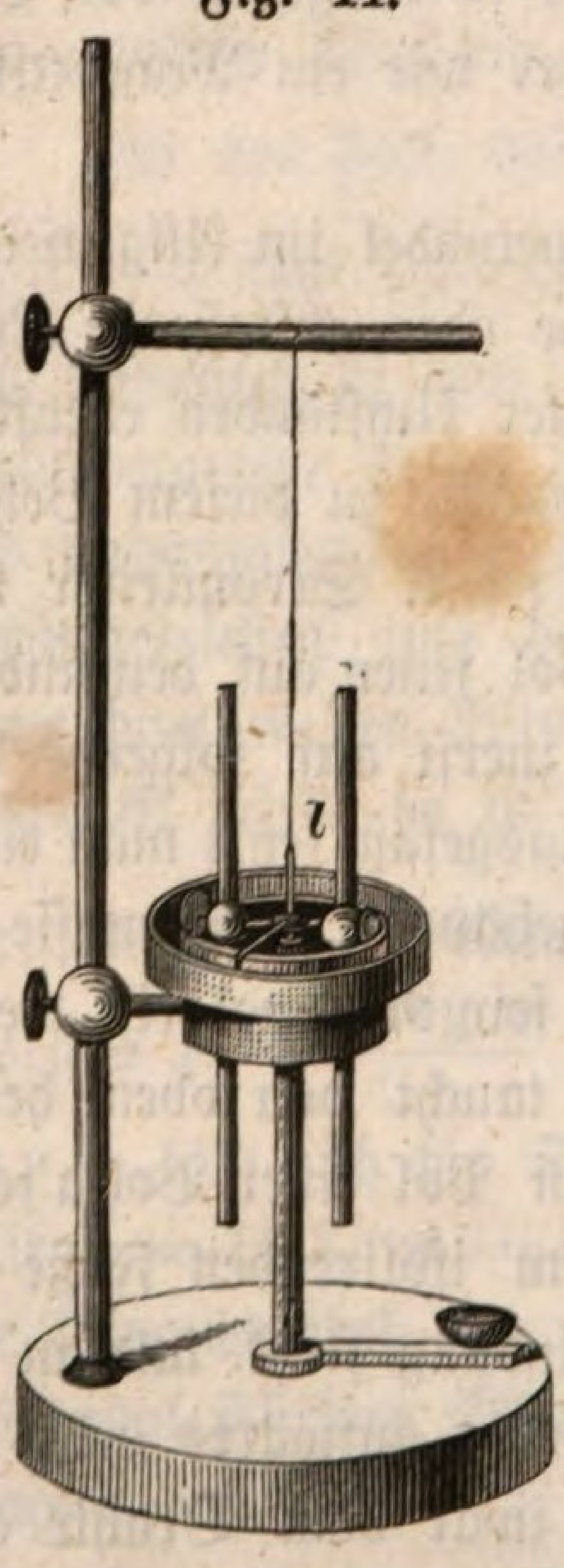
Der elektrische Strom, welcher auf eine Magnetnadel im Allgemeinen eine richtende und in gewissen Lagen eine anziehende oder abstoßende Kraft ausübt, vermag einen frei beweglichen Magnet unter Umständen ebenfalls in eine rotirende Bewegung zu versetzen. Man braucht zu diesem Behufe in der Nähe eines frei beweglichen Magnets den festen Stromleiter nur so einzurichten, daß dessen Einfluß auf den einen Pol jenen auf den andern überwiegt. Faraday hat eine derartige Rotation zuerst auf folgende Art bewerkstelligt. In ein mit Quecksilber gefülltes Glasgefäß senkt man einen Magnetstab, welcher darin durch eine unten angehängte Platinmasse in verticaler Lage schwimmend erhalten wird, so daß sein Nordpol ein wenig aus der Flüssigkeit hervorragt. Ein Metallring taucht von oben herab in das Quecksilber und communicirt mit dem einen Pol einer Volta'schen Säule, während ein starker Metalldraht von einem isolirenden Fuße getragen mit dem andern Pole der Säule in Verbindung steht und in die Quecksilbermasse taucht. Wenn der Strom im Draht aufwärts geht, bewegt sich der Magnet um den Draht herum und zwar vom Drahte aus gesehen von der Rechten gegen die Linke. Wenn aber der Strom abwärts geht, erfolgt die Drehung im entgegengesetzten Sinne. Wenn der Südpol des Magnets aufwärts gekehrt ist, geschieht die Drehung in beiden Fällen wieder in entgegengesetzter Richtung.

Man kann den Magneten auch um seine eigene Achse zum Rotiren bringen. Auf dem Boden eines Glases ist deßhalb ein mit einer Stahl-

spitze versehenes Brettchen aufgekittet. Auf diese Spitze wird der eine Pol eines cylindrischen Magnets gesetzt, auf dessen anderem eine Hülse von Holz sitzt, welche ein Quecksilbernäpfchen bildet. Eine stählerne Schraube, deren Spitze jener im Glase vertical gegenübersteht, wird so weit gegen die kleine obere Oeffnung des Magnets herunter geschraubt, daß derselbe zwischen beiden Spitzen noch etwas Spielraum hat, aber sie doch nicht verlassen kann. Ein Kupferring legt sich an die innere Wand des Glases an und steht durch einen Draht mit dem einen Pole der Säule in Verbindung. In die Hülse gießt man etwas Quecksilber und in das Glas so viel, daß der Magnet zwischen beiden Spitzen blos schwebt und so im Quecksilber sich leicht drehen kann. Der andere Pol der Säule ist durch einen Draht mit der stählernen Schraube leitend verbunden. Die Rotation des Magnets um seine Längenachse findet in der oben angegebenen Weise statt, so lange die Kette geschlossen bleibt.

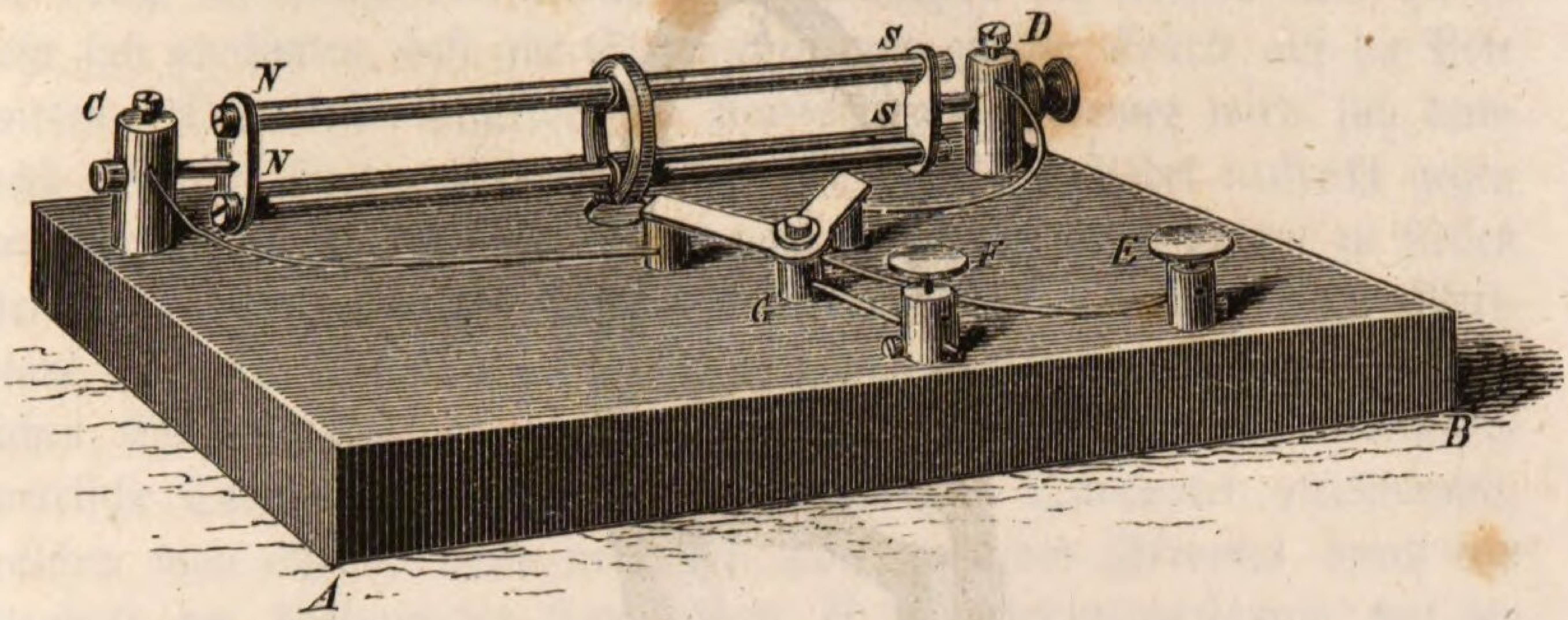
Die Rotation eines Magnets um einen festen Strom läßt sich auch mittelst des in Figur 44 dargestellten Apparates nachweisen. An einem Seidenfaden hängen zwei durch einen horizontalen Querstab mit einander fest verbundene Magnete herab, so daß beide ihren Nordpol nach oben oder nach unten gekehrt haben. Von der Mitte des horizontalen Querstabes geht senkrecht zu seiner Richtung und gleichfalls horizontal ein anderes Metallstäbchen aus, dessen vorderes Ende nach unten umgebogen ist und die Oberfläche des in einer hölzernen Rinne befindlichen Quecksilbers berührt. Durch die Mitte der Rinne geht der Leiter l, welcher mit dem einen Pol der Kette in Verbindung steht, während das Quecksilber in der Rinne mit dem andern Pole leitend verbunden wird. Der elektrische Strom veranlaßt wieder eine Drehung der Magnete um den Leiter l; in welcher Richtung die Rotation erfolgt, hängt davon ab, ob die Nordpole oder die Südpole nach unten gekehrt sind und ob der Strom aufwärts oder abwärts geht.

Fig. 44.




Von einem anderen zur Anstellung des Versuches über die Rotation eines Magnets unter dem Einflusse eines elektrischen Stromes sehr zweckmäßigen Apparat gibt Figur 45 Auskunft. — Das auf dem Brette A B festsitzende Messingsäulchen C ist mit einer Stahlspitze versehen, dagegen s ihm gegenüberstehende Messingsäulchen D eine stählerne Schraube hat,

Fig. 45.




deren geschliffene Spitze mit der ersteren Spitze in einer Horizontalen liegt. Diese beiden Spitzen tragen zwei durch zwei Messingplättchen fest miteinander verbundene cylinderförmige Magnetstäbe, die ihre gleichnamigen Pole nach einerlei Seite gekehrt haben, so daß sich die Magnete um die durch die beiden Spitzen gehende horizontale Achse leicht drehen können. Auf der Mitte der zwei Magnete ist ein Messingring befestigt, dessen unterer Theil in das in einer kleinen Vertiefung des Brettes befindliche Quecksilber taucht, welches durch einen Kupferdraht mit dem Messingsäulchen E leitend verbunden ist. Das ihm gegenüberstehende Messingsäulchen F ist seinerseits wieder durch einen Kupferdraht mit dem Messingsäulchen G leitend verbunden. Auf diesem Säulchen befinden sich zwei rechtwinklig zu einander stehende verschiebbare Messingplatten, welche je nachdem sie gestellt sind, gestatten, den elektrischen Strom auf der Nordseite oder auf der Südseite allein oder auf beiden Seiten gleich vorbeizuführen. Die Oeffnungen der Säulchen E und F dienen um die Polardrähte einer Volta'schen Kette festschrauben zu können. Durch den Strom von einem großplattigen Elemente kommt das System der beiden Magnete zum lebhaften Rotiren.

## 2. Tangentenbussole. — Sinusbussole. — Multiplicatoren. — Differentialgalvanometer.

Wie an einem früheren Orte schon bemerkt worden, versteht man unter Rheometer oder Galvanometer diejenigen Apparate, welche uns in Stand setzen aus dem Ablenkungswinkel, welchen eine Magnetnadel durch den elektrischen Strom erfährt, die Richtung und Stärke desselben zu erkennen. — Einer der wichtigsten dergleichen Apparate ist die Tangentenbussole, deren man sich gewöhnlich zur Messung stärkerer Ströme bedient. Sie besteht aus einem kreisförmig gebogenen Kupferstreifen K

Fig. 46.




(Fig. 46), dessen Ebene vertical steht und dessen Mittelpunkt C zugleich der Drehungspunkt einer Declinationsnadel ist. Die in der Peripherie des Kreises aneinander grenzenden Enden sind daselbst durch eine gut isolirende Zwischenlage getrennt, so daß der leitende Kreis nur an der Stelle unterbrochen ist, an welcher der Zuleiter und Ableiter des durch den Kreis gehenden elektrischen Stromes in dessen Peripherie eingreifen. Der Zuleitungsdraht und Ableitungsdraht müssen eine Strecke weit parallel zu einander fortlaufen, damit die einander entgegengesetzten Einwirkungen des zufließenden und abfließenden Stromtheiles auf die Magnetnadel sich gegenseitig aufheben. Auch muß die Quelle des elektrischen Stromes von der Nadel hinlänglich entfernt sein, damit sie auf dieselbe nicht merklich einzuwirken vermag. Unter solchen Umständen wird die Magnetnadel nur von

dem kreisförmigen Theil des elektrischen Stromes afficirt. — Wenn nun die Länge der Nadel rücksichtlich des Halbmessers des Kreises klein ist, so läßt sich annehmen, daß alle Stromtheile mit gleicher Stärke auf die Pole wirken. Die Gesammtaction des kreisförmigen Stromes wird sich demnach auf zwei Kräfte reduciren, welche die Pole der Nadel senkrecht gegen den Kreisstrom mit gleicher Stärke nach entgegengesetzten Seiten zu stellen streben. — Liegt nun die Ebene des Kreises in dem magnetischen Meridiane, so wird die Nadel durch den elektrischen Strom von ihrer ursprünglichen Gleichgewichtslage um einen Winkel w abgelenkt, dessen trigonometrische Tangente nach dem oben Gesagten dem Quotienten gleichkommt, welchen man erhält, wenn man die Totalkraft des Stromes durch das Produkt der horizontalen Componente H des Erdmagnetismus mit der Intensität $\mu$ der Nadel dividirt. Es ist demnach: $\tan w = \frac{2\pi}{r} \cdot \frac{\varrho}{H}$; d. h. die Tangente des Ablenkungswinkels ist für denselben Ort der Stromstärke proportional. Die Intensität $\mu$ der Nadel hat keinen Einfluß auf die Ablenkung, weil dieselbe als Factor im Zähler und Nenner des Werthes von $\tan w$ vorkommt.

Um den Ablenkungswinkel w messen zu können, muß die Magnetnadel mit einem in Grade getheilten Kreise versehen sein, dessen Nullpunkt in die Ebene des Stromes fällt. — Soll die Abmessung mit Genauigkeit geschehen, so nimmt man einen Theilkreis, dessen Radius größer ist als die halbe Länge der Nadel, befestigt aber an dieselbe eine feine Glasnadel von dunkler Farbe, deren Enden bis zu der Theilung hinreichen. — Eine genaue Ablesung wird auch dadurch erreicht, daß man auf dem Boden der Bussole einen Spiegel anbringt: das Auge befindet sich dann in der zum Ablesen richtigen Stellung, wenn die Spitze der Nadel mit ihrem Spiegelbilde zusammenfällt. — Vortheilhafter ist es die in der Mitte des Ringes befindliche Nadel an einem oben am Ringe befestigten Coconfaden aufzuhängen, als dieselbe sich auf einer Spitze bewegen zu lassen. — Die Länge der Nadel darf höchstens 1/5 des Ringdurchmessers betragen, wenn die Stromstärke mit genügender Genauigkeit der Tangente der Ablenkung proportional angesehen werden soll: je kleiner sie im Vergleich zu demselben ist, desto genauer ist die Stromstärke der Tangente des Ablenkungswinkels proportional. Gewöhnlich gibt man bei einem Ringdurchmesser von 25 bis 40 Centimeter der Nadel eine Länge von 2 bis 3 Centimeter.

Sämmtliche Theile des kreisförmigen Stromes müssen mit den Polen der Magnetnadel in der Kreisebene liegen, wenn sie alle das Bestreben haben sollen, die Nadel senkrecht gegen jene Ebene zu stellen. Ein solcher Fall wird nur bei einer gegen den Durchmesser des Kreisstromes kleinen Nadel eintreten, weil nur dann die Unterschiede in den Abständen der ver-

schiedenen Stromtheile von den Polen der Nadel unbedeutend sind und alle Stromtheilchen mit gleicher Stärke auf die Pole wirken, für den Fall selbst, daß die Nadel ihre ursprüngliche Gleichgewichtslage verläßt. Es wirft sich nun die Frage auf, in wie fern man auf experimentellem Wege die Grenzen zu ermitteln vermag, innerhalb derer die Stromstärken den Tangenten der Ablenkungswinkel proportional angenommen werden können. — Zu diesem Behufe ersetzt man den Kupferstreifen, welcher den Kreis der gewöhnlichen Tangentenbussole bildet, durch vier mit Seide bewickelte Kupferdrähte von ohngefähr 1 Millimeter Durchmesser, leitet dann einen constant erhaltenen Strom bald durch einen einzigen dieser Drähte, bald durch alle vier miteinander verknüpft, und vergleicht die Tangenten der mit dem einfachen und dem vierfachen Draht erhaltenen Ablenkungen. Wenn nun die vier Drähte einzeln genommen gleiche Wirkungen auf die Nadel ausüben, so muß der Strom, welcher die vier Drähte durchläuft, die vierfache Wirkung von der eines einzigen Drahts äußern. Man braucht also, um die Angaben des Instrumentes zu prüfen, blos zu untersuchen, ob die Tangenten der Ablenkungen sich wie 4 zu 1 zu einander verhalten oder nicht. — Um zu genauen Resultaten zu gelangen, muß man Sorge tragen, daß die Wirkung der vier einzelnen Drähte auf die Nadel vollkommen gleich sei. Auch darf man nicht unterlassen, in dem Falle, daß der Strom blos einen Draht durchläuft, einen Compensationsdraht einzuschalten, der hinsichtlich seines Leitungswiderstandes den drei dann ausgeschlossenen Drähten gleichkommt. — Auf diese Weise hat man sich von der Richtigkeit der oben gemachten Aussage überzeugt und zugleich gefunden, daß die Tangente des Ablenkungswinkels fast mit vollkommener Genauigkeit der Stromstärke proportional ist, wenn der Mittelpunkt des Kreises um den halben Radius desselben vom Mittelpunkte der Nadel entfernt ist und die Nadellänge höchstens ein Drittel des Ringdurchmessers beträgt. Man kann daher Tangentenbussolen anfertigen, die bei 20 Centimeter Durchmesser große Genauigkeit und Empfindlichkeit besitzen.

Wir wollen jetzt die Angaben der Tangentenbussole oder des elektromagnetischen Rheometers mit denen des Voltameters oder des elektrochemischen Rheometers vergleichen. Es werden deßhalb in den Schließungsbogen einer Säule gleichzeitig die Tangentenbussole und das Voltameter eingeschaltet und die in beiden Instrumenten erzeugten Wirkungen in vergleichende Zusammenstellung gebracht. — Bezeichnen wir mit v das bei der Ablenkung w der Tangentenbussole das auf den Barometerstand von 760 Millimeter und auf die Temperatur 0 reducirte in der Zeit t erhaltene Gasvolumen, und nehmen wir die Stromstärke bei der Ablenkung von $1^{0}$ als Einheit an, welche die Gasmenge x in der Minute liefert; so haben wir die Gleichung $v = \frac{\text{tang}.\,w}{\text{tang}.\,1}.\,t.\,x$, wenn die Stromstärke der Tangente

der Ablenkung der Magnetnadel einerseits und der elektrolytischen Action anderseits proportional ist. Eine solche von Lenz in Petersburg mit äußerster Sorgfalt vorgenommene Versuchsreihe gab folgende Resultate, bei denen die Gasvolumen bereits auf den Normalzustand reducirt worden sind:

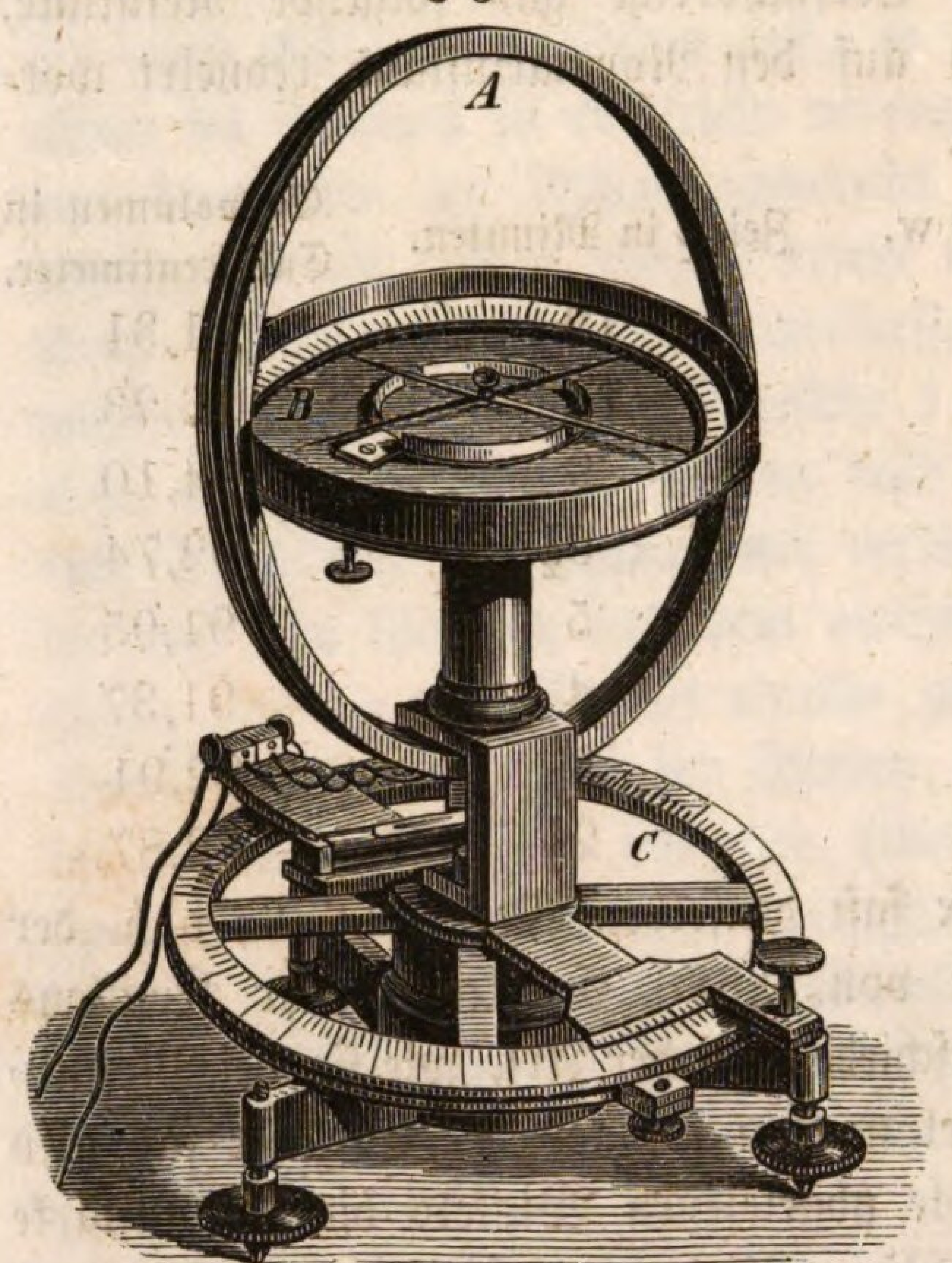
| Ablenkung w. | Tangente des Winkels w. | Zeit t in Minuten. | Gasvolumen in Cubikcentimeter. |
|---|---|---|---|
| 5° | 0,08749 | 12 | 41,31 |
| 10° | 0,17633 | 14 | 96,23 |
| 15° | 0,26795 | 9 | 94,10 |
| 20° | 0,36397 | 6½ | 92,74 |
| 25° | 0,46631 | 5 | 91,95 |
| 30° | 0,57735 | 4 | 91,37 |
| 35° | 0,70021 | 3 | 82,91 |
| 40° | 0,83910 | 2½ | 82,87. |

Die einzelnen Versuche geben für x fast denselben Werth 0,686; d. h. der Strom 1 entwickelt ein Volumen von 0,686 Cubikcentimeter Knallgas in der Minute. Die kleinen Unterschiede sind der Art, wie sie bei Messungen der Gasvolumen wohl erwartet werden konnten. — Es läßt sich also mittelst des an der Tangentenbussole abgelesenen Winkels die Stromstärke in chemischem Maße ausdrücken. Wir müssen jedoch bemerken, daß einmal der Factor 0,686, mittelst dessen der magnetische Effect in den chemischen umgesetzt wird, mit der Tangentenbussole sich ändert, und dann, daß er für dasselbe Instrument nur so lange gilt, als die Versuche an dem nämlichen Orte angestellt werden. — Wenn es sich darum handelt, den Reductionsfactor für chemisches Maß zu bestimmen, muß man Bedacht nehmen, alle Umstände zu beseitigen, welche einen Gasverlust herbeiführen können. Man hat daher zu Elektroden solche Substanzen zu wählen, welche durch die frei werdenden Gase keinerlei Veränderung erleiden; am häufigsten wendet man Drähte von Platin an. Ferner muß man die entwickelten Gase über Quecksilber auffangen, da das Wasser mehr oder weniger davon absorbirt. Dann müssen beide Gasarten getrennt aufgefangen werden, weil unter dem Einfluß des Platins eine theilweise Wiedervereinigung derselben stattfindet. Auch ist es vortheilhaft, das gesäuerte Wasser zu erwärmen, weil eine niedrige Temperatur an der positiven Elektrode den Sauerstoffverlust befördert.

Die Sinusbussole (Fig. 47) besteht aus einem verticalen hölzernen Ringe A von etwa 30 Centimeter im Durchmesser, um welchen in mehreren Windungen ein mit Seide übersponnener Kupferdraht gelegt ist. Der mit dem horizontalen Kreise B fest verbundene Ring sitzt auf der Alhidade eines zweiten unten befindlichen in Grade getheilten Kreises C

so auf, daß sein verticaler Durchmesser mit der Drehachse der Alhidade zusammenfällt. Im Mittelpunkt des Kreises B liegt genau der Drehungspunkt der Magnetnadel, an welcher ein Elfenbeinstäbchen befestigt ist, das sich gleichzeitig mit ihr bewegt und den Stand der Nadel in jedem Augenblicke zu ermitteln dient. — Vor dem Beginne der elektrischen Strömung wird der Apparat so gestellt, daß die Ebene des mittleren Schnittes des Ringes mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt und das Elfenbeinstäbchen auf den Nullpunkt des Kreises B zeigt; in dieser Stellung wird die Lage der Alhidade am unteren Kreise C angemerkt und alsdann der Strom durch den Kupferdraht des Ringes geleitet. Man kann mittelst der Alhidade der Ablenkung der Magnetnadel folgen, bis sie abermals auf den Nullpunkt von B zeigt, mithin in Bezug auf die Ebene des Kreises A genau die nämliche Lage hat wie im magnetischen Meridiane. Die Magnetnadel ist durch den elektrischen Strom offenbar um so viel Grade abgelenkt worden, als sich der Index der Alhidade auf dem horizontalen Kreise C gedreht hat. — Da die Nadel wieder in der Ebene des Kreisstromes sich befindet, so kommt die ganze Kraft F des Kreisstromes, welche senkrecht auf dessen Ebene steht, zur Wirkung: dieselbe wird durch die horizontale Componente H des Erdmagnetismus im Gleichgewicht erhalten. Hiernach besteht, wenn $\alpha$ den Ablenkungswinkel bezeichnet, die Gleichung: $F = H \sin \alpha$, d. h. die Stromstärke ist bei der Sinusbussole für denselben Ort dem Sinus des Ablenkungswinkels direct proportional. — Für schwache Ströme ist die Sinusbussole mit Vortheil anzuwenden, weil die Ablenkungswinkel ihrer Nadel größer sind als bei der Tangentenbussole; doch steht sie der letzteren hinsichtlich der Bequemlichkeit beim Gebrauche nach. Die Empfindlichkeit des Instrumentes hat Poggendorf dadurch wieder erhöht, daß er die Nadel an einem feinen Coconfaden aufhängt, anstatt sie auf einer Spitze drehen zu lassen.

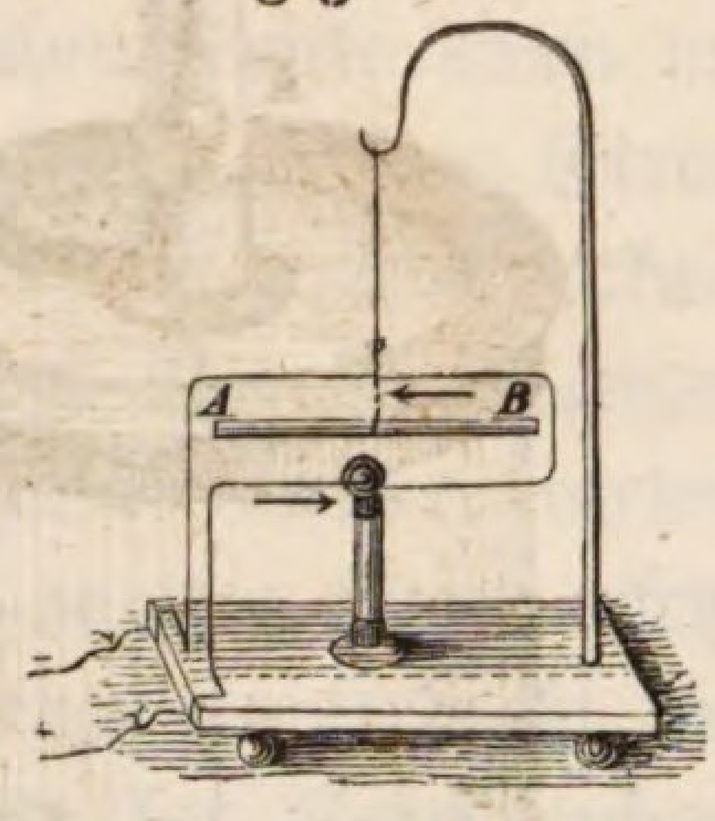
Fig. 47.




Um sehr schwache elektrische Ströme zu erkennen und ihre Richtung festzustellen, dienen die von Schweigger und Poggendorf gleichzeitig con-

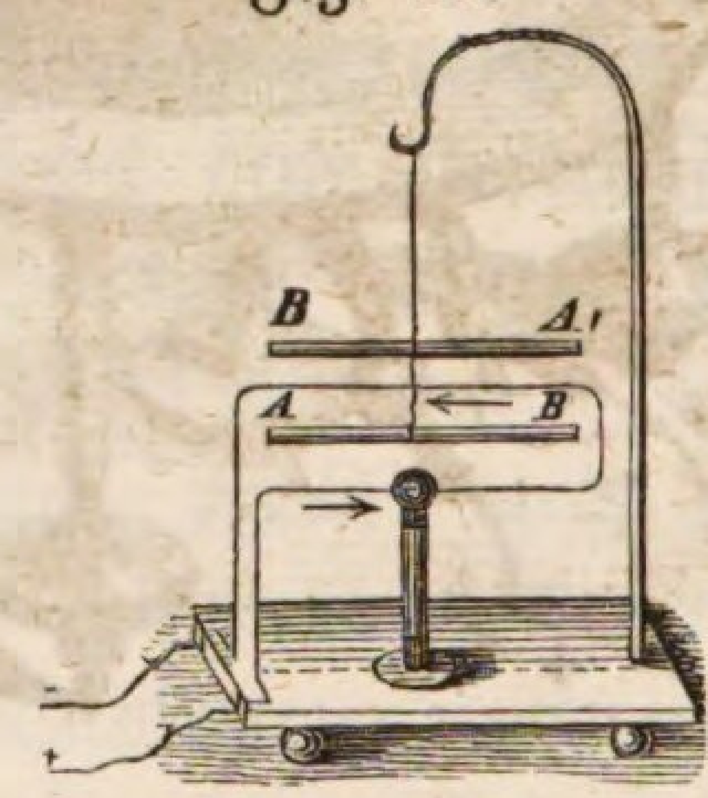
struirten Instrumente, welche unter dem Namen **Multiplicator** oder **Galvanometer** bekannt sind. — Wir betrachten zunächst eine an einem torsionslosen Seidenfaden in der Ebene des magnetischen Meridians aufgehängte Magnetnadel A B (Fig. 48), welche von einem rechteckig gebogenen Leitungsdraht umgeben ist. Leitet man einen elektrischen Strom durch diesen Draht, so werden alle vier Seitenströme die Nadel in demselben Sinne abzulenken streben. Was von diesem einfachen Strom gilt, wird auch für sämmtliche in dem nämlichen Sinne um die Nadel fließende Ströme gelten. Führt man daher um einen rechteckigen Holzrahmen einen feinen langen mit Seide übersponnenen Draht in vielen parallelen eng bei einander gelegenen Windungen herum, so werden sich die Ströme gegenseitig in ihrer Wirkung unterstützen: der Strom ist mithin vervielfältigt worden.

Fig. 48.




Betrachten wir jetzt die Wirkung eines rectangulären Stromes auf zwei gleichstarke Magnetnadeln A B, A′B′ (Fig. 49), welche an einem feinen Faden dergestalt aufgehängt sind, daß sie die ungleichnamigen Pole nach der entgegengesetzten Seite gekehrt haben. Die beiden horizontalen Ströme streben das Nadelpaar um eine verticale Achse in einerlei Sinne zu drehen. Diese Bewegung des astatischen Nadelsystems unterstützen die verticalen Ströme durch ihren Einfluß auf die untere Nadel, dagegen hemmen sie dieselbe durch ihre Einwirkung auf die obere Nadel. Da die verticalen Ströme der unteren Nadel aber näher stehen, so wirkt ihr überwiegender Einfluß im gleichen Sinne wie die horizontalen Ströme: durch das astatische Nadelsystem wird demnach der ablenkende Einfluß der elektrischen Ströme noch verstärkt.

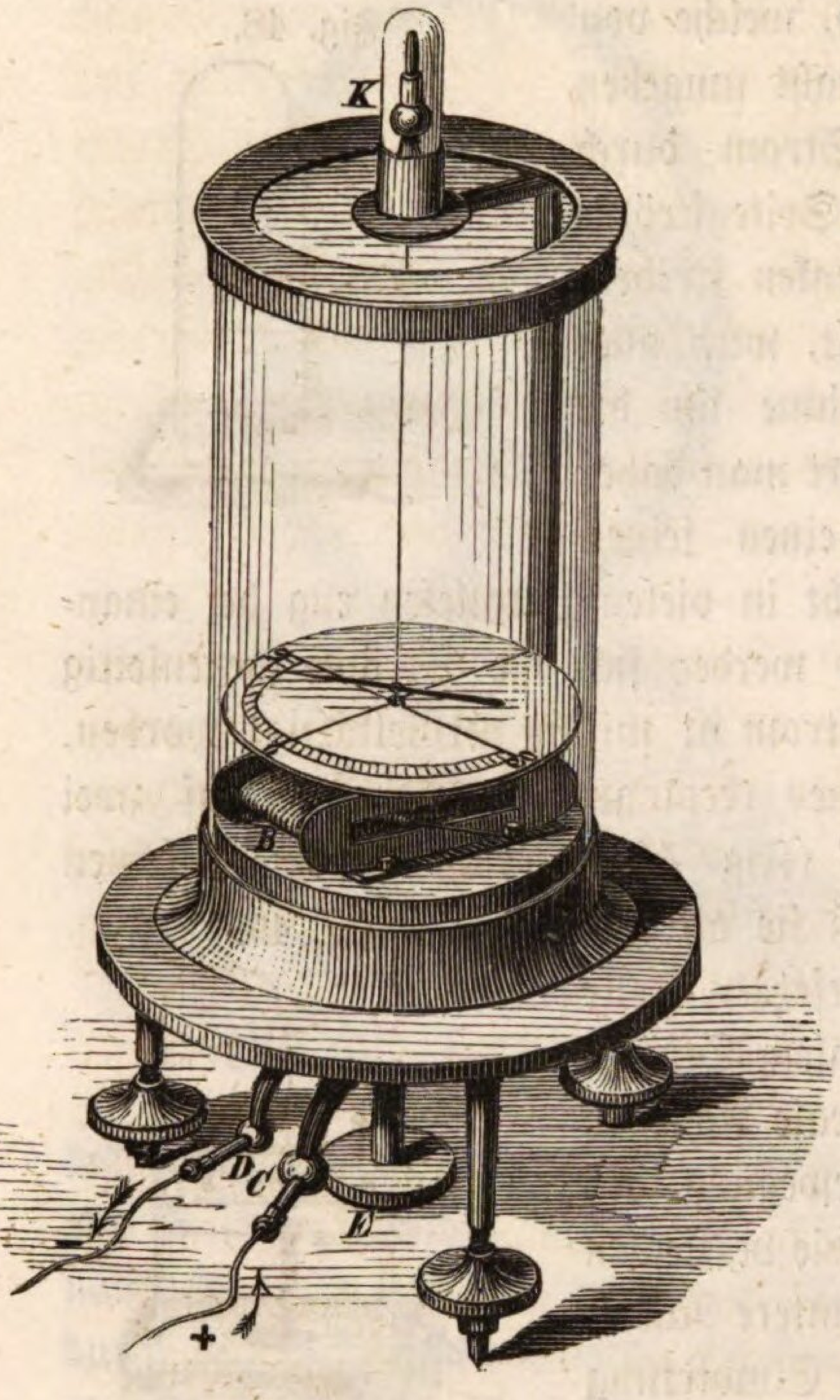
Fig. 49.




Dieses Princip hat Nobili bei seinem Galvanometer in Anwendung gebracht, der dadurch eine außerordentliche Empfindlichkeit besitzt. Ein mit Seide übersponnener Kupferdraht ist in vielfachen Windungen um ein Elfenbeingestell A B (Fig. 50) gelegt, den man mittelst des Knopfes E um eine verticale Achse drehen kann. Ueber den Drahtwindungen ist ein in Grade getheilter Kreis angebracht, dessen durch den Nullpunkt gehender Durchmesser mit der Richtung der Windungen parallel läuft. An einem Gestell von Messing ist ein Haken befestigt, dazu bestimmt, den zur Aufhängung des astatischen Nadelpaares nöthigen Coconfaden zu tragen. Durch Drehung des Knopfes K läßt sich dasselbe nach Belieben heben und senken. Die eine Nadel befindet sich über dem getheilten Kreise, die andere inner-

halb der Windungen. Der Apparat ruht auf drei Füßen mit Stellschrauben und ist mit einer Glasglocke umgeben, um die Nadeln gegen Luftzug zu schützen. — Beim Gebrauch dreht man mit Hülfe des Knopfes E den Elfenbeinrahmen so, daß der Nullpunkt der Kreistheilung mit dem einen Ende der oberen Nadel zusammenfällt: die Nadeln stehen dann im magnetischen Meridian und parallel zu den Windungen. Verbindet man nun die Klemmschrauben C, D mit den Polen eines Elektromotors, so fließt ein Strom durch die Windungen, in Folge dessen das Nadelpaar eine Ablenkung nach der einen oder der andern Seite hin erfährt, je nachdem der Strom nach der einen oder entgegengesetzten Richtung läuft.

Fig. 50.




Der Multiplicator oder Galvanometer ist zwar ein zur Nachweisung von elektrischen Strömen sehr passender Apparat, allein zur genauen Messung der Stromstärke nicht geeignet. Da nicht alle Theile in gleicher Entfernung von den Polen der Nadel liegen, auch jede einzelne Windung eine verschiedene Lage gegen dieselben hat; so läßt sich über die Multiplicatorablenkungen kein so einfaches Gesetz herleiten wie bei den zwei vorher genannten Instrumenten. Die ablenkende Wirkung nimmt mit der Zahl der Windungen zu, doch läßt sich diese Wirkung nicht in das Unendliche steigern, indem durch die Vermehrung der Windungen der Widerstand in der Kette gesteigert und der Strom geschwächt wird. Der Multiplicator wird daher mehr als empfindliches Rheoskop und nur selten als Rheometer gebraucht. — Die Galvanometer sind durch die Länge und Dicke ihrer Leitungsdrähte von einander unterschieden. Bei den einen wendet man nur wenige Windungen mit dicken Drähten, bei den andern viele Windungen mit feinen Drähten an. Zu delicaten Untersuchungen hat man schon Multiplicatoren von 30000 Windungen benutzt. Will man Ströme messen, welche einen bedeutenden Widerstand zu überwinden vermögen; so wendet man langdrähtige Galvanometer an. Dagegen wählt man kurzdrähtige Galvanometer, wenn man es mit Strömen zu thun hat, die nur einen geringen Widerstand zu bewältigen im Stande sind.

Wir haben, als von der Tangentenbussole die Rede war, ausgesagt, daß der Mantel eines geraden Kegels, dessen Spitze mit dem Drehungspunkte der Nadel zusammenfällt und dessen Höhe gleich dem halben Radius der Basis ist, der passendste Ort zur Construction der Tangentenbussole sei. Wenn man daher auf der Oberfläche eines solchen Kegels einen mit Seide übersponnenen Kupferdraht spiralförmig aufwickelt und einen Strom hindurchleitet, so wird jede einzelne Windung der Nadel eine Ablenkung ertheilen, deren Tangente der Stromstärke proportional ist. Die Tangentenbussole wird demnach zu einem Tangentenmultiplicator werden, wenn man den Ring der ersteren durch einen abgestumpften Kegel ersetzt, der auf seiner Außenseite mit einem feinen übersponnenen Kupferdraht umwickelt ist und dessen Spitze mit dem Drehungspunkt der Nadel zusammenfällt.

Das Differentialgalvanometer ist sehr bequem, um die Intensitäten zweier Ströme zu vergleichen. Dasselbe besteht aus zwei genau gleich langen und gleich dicken, gut von einander isolirten Kupferdrähten, die auf dem Rahmen neben einander herlaufen. Man erhält auf diese Weise zwei von einander getrennte Stromleiter, durch welche gleichzeitig zwei Ströme geleitet werden können. Erfolgen letztere in entgegengesetzter Richtung, so entspricht die Ablenkung der Magnetnadel dem Unterschied der Intensitäten beider Ströme, im Sinne des stärkeren. Gehen die beiden Ströme dagegen in einerlei Richtung hindurch, so werden sich ihre Wirkungen summiren. — Theils durch die Summe, theils durch die Differenz zweier Ströme hat man die Intensitäten auf experimentellem Wege zu bestimmen gesucht, welche den einzelnen Multiplicatorablenkungen entsprechen. Nachstehende zwei specielle Beispiele werden das dabei eingehaltene Verfahren erläutern. Angenommen, der durch einen Draht gesendete Strom bewirke eine Ablenkung von 8°; leitet man durch den andern Draht gleichzeitig einen gleich starken Strom, so wird die Wirkung auf das Doppelte anwachsen. Beträgt nun die Ablenkung wirklich 16°, so kann man annehmen, daß die Stromstärke dem Ablenkungswinkel proportional ist. Bis zu 30° soll dies den Versuchen zufolge der Fall sein. — Angenommen weiter, der durch einen Draht geleitete Strom bewirke eine Ablenkung von 20°: schickt man durch den andern Draht zugleich einen genau gleich starken Strom, so wird die Wirkung wieder auf das Doppelte anwachsen. Beträgt nun die Gesammtablenkung nicht 40°, sondern nur 35°; so ist die der Ablenkung von 35° entsprechende Stromstärke eine solche, welche das Doppelte von der zu 20° Ablenkung gehörigen Intensität macht. Es ist einleuchtend, wie man sich auf diese Weise die Intensitätsscalen für ein bestimmtes Instrument anfertigen kann: die Hauptschwierigkeit der Methode besteht nur darin, genau gleiche Ströme zu erzeugen.

## 3. Magnetisirung durch elektrische Ströme.

Die entgegengesetzte Wirkung, welche ein elektrischer Strom auf ungleichnamige Pole äußert, mußte bald auf die Vermuthung führen, daß er auch im Stande sei, dem unmagnetischen Eisen und Stahl den Magnetismus zu ertheilen. Arago hat zuerst beobachtet, daß Eisenfeile an dem Leitungsdraht hängen bleibt, so lange der Strom durch denselben hindurchfließt; dagegen sie von dem Drahte sich ablöst, sobald der Strom unterbrochen wird. — Auch hat er gefunden, daß Nadeln von weichem Eisen, an denen der Strom senkrecht gegen deren Länge vorbeigeht, magnetische Eigenschaften zeigen, daß sie aber mit Unterbrechung des Stromes wieder in den neutralen Zustand zurückkehren. Nadeln von gehärtetem Stahle werden unter denselben Umständen gleichfalls magnetisch, behalten jedoch ihren Magnetismus bei, wenn der Strom unterbrochen wird. — Verstärkt wird die Wirkung des Stromes auf die Nadel, wenn man ihn mehrmals um dieselbe gehen läßt. Man wickelt deßhalb den Leitungsdraht spiralförmig um eine Glasröhre, in welche der gehärtete Stahlstab gelegt wird. Der Stab erhält sofort magnetische Kraft, wenn man durch den schraubenförmigen Draht einen elektrischen Strom leitet. — Was die Lage der Pole betrifft, so wird bei der rechtsgewundenen Spirale der Nordpol da entstehen, wo der Strom die Spirale verläßt; bei der linksgewundenen Spirale aber auf der Seite liegen, wo der Strom eintritt.

Gerade Stahlstäbe lassen sich durch folgendes Verfahren recht gut magnetisiren. Man nimmt eine Magnetisirungsspirale, d. h. eine Spule von Holz oder Pappe, auf welche ein wohl übersponnener Kupferdraht von 1 bis 2 Millimeter Durchmesser in mehreren Lagen aufgewickelt ist. In diese Spirale steckt man den zu magnetisirenden Stahlstab und bewegt ihn darin bis an die Enden einigemale auf und nieder, während ein kräftiger Strom in den Drahtwindungen circulirt. Zuletzt öffnet man die Kette, wenn der Stab sich wieder mit seinem mittleren Theile in der Spirale befindet. — Statt der Drahtspirale kann man auch eine Bandspirale anwenden. Eine solche Bandspirale verschafft man sich, wenn man einen langen Streifen aus Kupferblech von $1^1/_2$ bis 2 Centimeter Breite gleichzeitig mit einem wollenen oder seidenen Bande aufwindet, welches etwas breiter als der Blechstreifen ist und zur Isolirung einer jeden Blechlage von der folgenden dient. — Durch dasselbe Verfahren lassen sich auch hufeisenförmige Stahlstäbe magnetisiren. Nur ist es gut, nachdem beide Schenkel durch die Ringe des gewundenen Kupferbandes gesteckt sind, einen Anker von weichem Eisen vorzulegen. Wenn der Strom in dem Bande circulirt, wird das Hufeisen mehrmals hin und her geführt und nach Oeffnung der Kette der Anker weggenommen.

Das weiche Eisen kann, wenn es die Form eines Hufeisens hat und mit einer Magnetisirungsspirale umgeben ist, deren Enden mit den Polen einer Volta'schen Säule in Verbindung stehen, unter günstigen Umständen eine bedeutende magnetische Kraft erlangen, so daß es eine weit beträchtlichere Last zu tragen vermag, als diejenige ist, welche ein künstlicher Magnet von denselben Dimensionen zu tragen im Stande ist. Man nennt dergleichen erzeugte Magnete Elektromagnete oder auch temporäre Magnete, weil sie nur so lange magnetisch sind, als der Strom nicht unterbrochen ist. — Die volle magnetische Kraft wird nicht im Augenblick des Stromeintrittes, sondern allmählig erreicht; auch hält das Eisen mit dem Aufhören des Stromes noch einen Theil des Magnetismus zurück, so lange der Anker mit den Polen in Berührung ist; erst bei der Entfernung desselben verschwindet der Magnetismus gänzlich. — Gewöhnlich ist das in Form eines Hufeisens gebogene weiche Eisen durch einen messingenen Träger an einem starken Holzgestell befestigt. Um die Tragkraft des Elektromagneten zu prüfen, ist der Anker mit einem Haken versehen, an welchen man eine Platte von Holz aufhängen kann, die man durch Gewichte belastet. — Die Tragkraft eines Elektromagnets hängt ab von der Größe des Eisens, von der Masse des Ankers, von der Stärke des Stromes, von der Leitungsfähigkeit des Drahtes. Wir werden später auf die Gesetze, nach denen der Einfluß dieser Stücke sich richtet, zurückkommen. Anführen wollen wir hier nur, daß man Elektromagnete construirt hat, welche über 1000 Kilogramme zu tragen im Stande sind.

Der Elektromagnet läßt sich mit Vortheil zur Erzeugung von Stahlmagneten benutzen; ein solcher Magnet scheint sogar das geeignetste Mittel zu sein, um harte und dicke Stahlstäbe auf kräftige Weise zu magnetisiren. Das Verfahren ist höchst einfach. Man streicht in der Mitte anfangend mit der einen Hälfte des zu magnetisirenden Stabes zehn bis zwanzigmal über den einen Pol, hierauf mit der andern Hälfte eine gleiche Anzahl mal über den andern Pol des Elektromagnets. Dabei wird jede Hälfte des Stahls die entgegengesetzte Polarität von derjenigen erhalten, welche der gestrichene Pol des Elektromagnets besitzt.

## 4. Magnetische Wirkungen der Reibungselektricität.

Durch Reibungselektricität lassen sich ebenfalls magnetische Wirkungen hervorbringen, wie Arago und Savary zuerst nachgewiesen haben. Stahlnadeln werden dadurch magnetisirt, daß man sie in eine Spirale legt, deren Enden mit dem Conductor und dem Reibzeuge einer Elektrisirmaschine oder mit den beiden Belegungen einer Leydener Flasche verbunden sind. Der Nordpol und Südpol entstehen an dem einen oder dem andern Ende der Nadeln, je nach der Richtung des Stromes und dem Sinne der

Spiralwindungen. — Im Uebrigen ändert sich mit der Stärke der Ladung die Lage der Pole, so daß sie für schwächere Ladungen die umgekehrte von der bei stärkeren Ladungen ist. — Die Länge und Dicke des Leitungsdrahtes, die Dicke der Nadeln, der Abstand des Leitungsdrahtes von den Nadeln, die Oberfläche der Batterie sind auf die Intensität der Magnetisirung von Einfluß. — Auch der Blitzschlag kann Stahlmassen magnetisiren, den Compaßnadeln ihren Magnetismus entziehen oder ihre Pole umkehren.

Die Einschaltung verschiedener isolirender Substanzen zwischen der Nadel und dem Leitungsdrahte haben keinen Einfluß auf den Grad der Magnetisirung. — Nicht so verhält es sich mit der Einschaltung leitender Hüllen. Ein dicker Kupfercylinder zwischen der Nadel und der Spirale eingeschaltet, vermag die Einwirkung des Stroms vollständig zu verhindern. Bei einer dünnen leitenden Hülle tritt die Magnetisirung wieder ein. Zink und Zinn verhalten sich ähnlich wie Kupfer. — Hüllen abwechselnd aus leitenden und nichtleitenden Substanzen zusammengesetzt wirken so, als wären erstere allein vorhanden. — Hervorgehoben mag noch werden der Unterschied zwischen den durch Einschaltung von Spiralen aus Kupferdraht und den durch Einschaltung von Spiralen aus Eisendraht erhaltenen Resultaten. Eine Spirale aus dickem Kupferdraht erzeugt nämlich unter sonst gleichen Umständen eine schwächere Magnetisirung als die aus dünnem Kupferdraht; dagegen bewirkt eine Spirale aus dickem Eisendraht eine stärkere Magnetisirung als die aus dünnem Eisendraht. Dieser Unterschied scheint in der magnetischen Natur des Eisens zu liegen. Indem der Strom durch die kleinsten Theilchen des Eisens hingeht, ruft er in denselben den Magnetismus hervor, der seinerseits wieder zur Verstärkung der magnetischen Kraft der Stahlnadel beiträgt. Für die Richtigkeit des eben Gesagten spricht der Umstand, daß durch Anlegung von Eisenblech neben die Kupferspirale der Magnetismus verstärkt wird.

Die Reibungselektricität vermag auch, wie Colladon zuerst dargethan hat, eine Ablenkung der Magnetnadel hervorzubringen. Man muß deßhalb aber einen Multiplicator von vielen Umwindungen anwenden, die außer durch Seide noch durch einen Ueberzug von Schellackfirniß wohl von einander isolirt sind, damit die Elektricität ihrer größeren Spannung wegen nicht von einer Windung zur anderen übergehen kann. Wird nun das eine Ende eines solchen Multiplicators mit dem Conductor, das andere mit dem Reibzeuge einer Elektrisirmaschine in leitende Verbindung gesetzt; so erfolgt beim Drehen der Maschine eine Ablenkung der Nadel des Galvanometers.

Colladon hat ebenfalls durch atmosphärische Elektricität eine Ablenkung der Magnetnadel bewirkt. Zu diesem Behufe bediente er sich eines leiten-

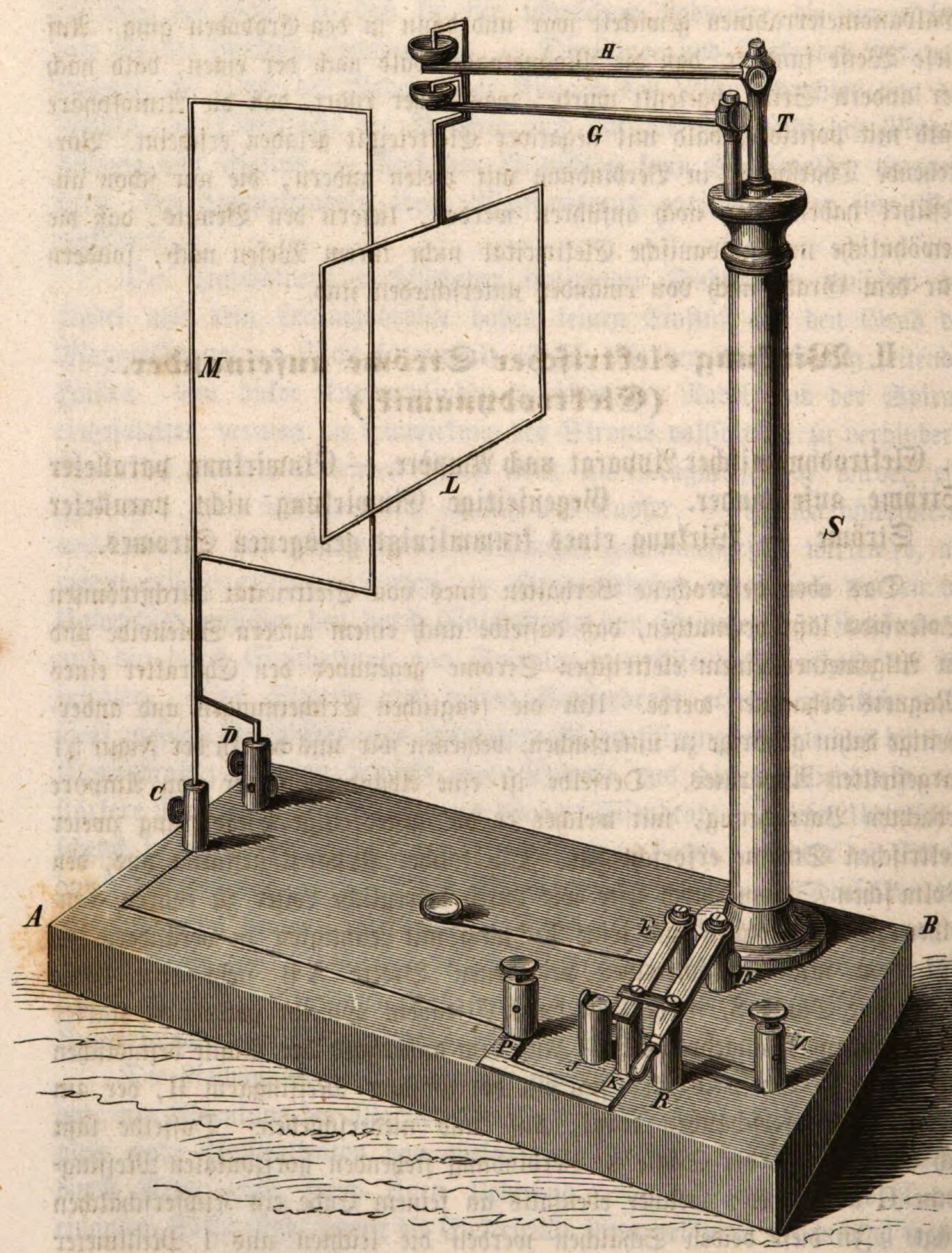
den Drahtes, der mit einem Blitzableiter in Verbindung stand, auf einen Galvanometerrahmen gewickelt war und dann in den Erdboden ging. Auf diese Weise fand er, daß die Magnetnadel bald nach der einen, bald nach der andern Seite abgelenkt wurde; was daher rührt, daß die Atmosphäre bald mit positiver, bald mit negativer Elektricität geladen erscheint. Vorstehende Thatsachen in Verbindung mit vielen andern, die wir schon angeführt haben oder noch anführen werden, liefern den Beweis, daß die gewöhnliche und galvanische Elektricität nicht ihrem Wesen nach, sondern nur dem Grade nach von einander unterschieden sind.

## II. Wirkung elektrischer Ströme aufeinander. (Elektrodynamik.)

### 1. Elektrodynamischer Apparat nach Ampère. — Einwirkung paralleler Ströme aufeinander. — Gegenseitige Einwirkung nicht paralleler Ströme. — Wirkung eines krummlinigt gebogenen Stromes.

Das oben besprochene Verhalten eines von Elektricität durchströmten Solenoids läßt vermuthen, daß dasselbe auch einem andern Solenoide und im Allgemeinen einem elektrischen Strome gegenüber den Charakter eines Magnets behaupten werde. Um die fraglichen Erscheinungen und anderweitige dahin gehörige zu untersuchen, bedienen wir uns des in der Figur 51 dargestellten Apparates. Derselbe ist eine Abänderung der von Ampère erdachten Vorrichtung, mit welcher er die gegenseitige Einwirkung zweier elektrischen Ströme erforscht hat. Ein solcher Apparat gestattet uns, den Volta'schen Strom durch feste wie durch bewegliche Leiter zu führen, denselben zu unterbrechen und seine Richtung mit Leichtigkeit zu verändern. — Auf dem mit Stellschrauben versehenen Brette A B steht eine hohle messingene Säule S, in der ein durch Elfenbein von ihr getrennter starker Messingdraht T angebracht ist. Auf dem außerhalb der Säule befindlichen Theile des Drahtes T läßt sich ein horizontaler Messingarm H, der am Ende ein Kupferschälchen trägt, auf- und niederschieben. Dasselbe läßt sich an dem mit der Säule in Verbindung stehenden horizontalen Messingarme G ausführen, welcher ebenfalls an seinem Ende ein Kupferschälchen trägt. In diese beiden Schälchen werden die leichten aus 1 Millimeter dickem Kupferdrahte verfertigten Leiter aufgehängt, wie der in der Figur angegebene L, dessen obere vertical stehende Theile durch eine isolirende Substanz von einander getrennt sind. Ein solcher Leiter hat am oberen Ende eine Stahlspitze, welche auf dem am Boden des oberen Schälchens angekitteten Zinkplättchen ruht, während das andere umgebogene Ende in das untere Schälchen hinabreicht: dergestalt kann sich der Leiter L mit Leichtigkeit nach der einen oder der andern Seite hin um eine zwischen

Fig. 51.




den Schälchen gedachte verticale Achse drehen. — Die Klemmschrauben C und D dienen zum Feststellen der unbeweglichen aus zwei Millimeter dickem Kupferdrahte verfertigten Leiter, wie der in der Figur abgebildete M, dessen untere vertical stehende Theile durch eine isolirende Substanz gleichfalls von einander gesondert sind. Die Klemmschraube C steht mit dem Säulchen P in leitender Verbindung durch einen unter dem Brette her-

laufenden Kupferdraht, während die Klemmschraube D mit der Klemmschraube E oder F oder dem auf dem Brette befindlichen Kupferschälchen nach Belieben leitend verbunden werden kann. Die Säulchen P und N dienen zum Befestigen der Polardrähte. Von dem Säulchen P geht eine Messingplatte nach dem verticalen Leiter K und eine zweite solche Platte von dem Säulchen N nach den verticalen Leitern J und R. — Durch eine Vorrichtung, die man den Commutator oder Gyrotrop nennt, kann man die Richtung des Stromes in dem beweglichen Leiter wechseln, ohne den zu den Polen führenden Leitungsdrähten die entgegengesetzte Anordnung zu geben. Ein derartiger Stromwender besteht bei unserem Apparate aus zwei durch Elfenbein von einander isolirten Messingstreifen, deren einer an der Klemmschraube E und anderer an der Klemmschraube F befestigt ist. Von erwähnten zwei Streifen liegt, je nachdem sie nach der linken oder der rechten Seite gedreht werden, der eine auf dem senkrechten Leiter J oder K, während der zweite auf dem senkrechten Leiter K oder R ruht. Die Klemmschraube E steht durch einen Kupferstreifen mit der Säule S in Verbindung, während die Klemmschraube F durch eine unter dem Brette herlaufende Messingplatte mit dem Drahte T leitend verbunden ist.

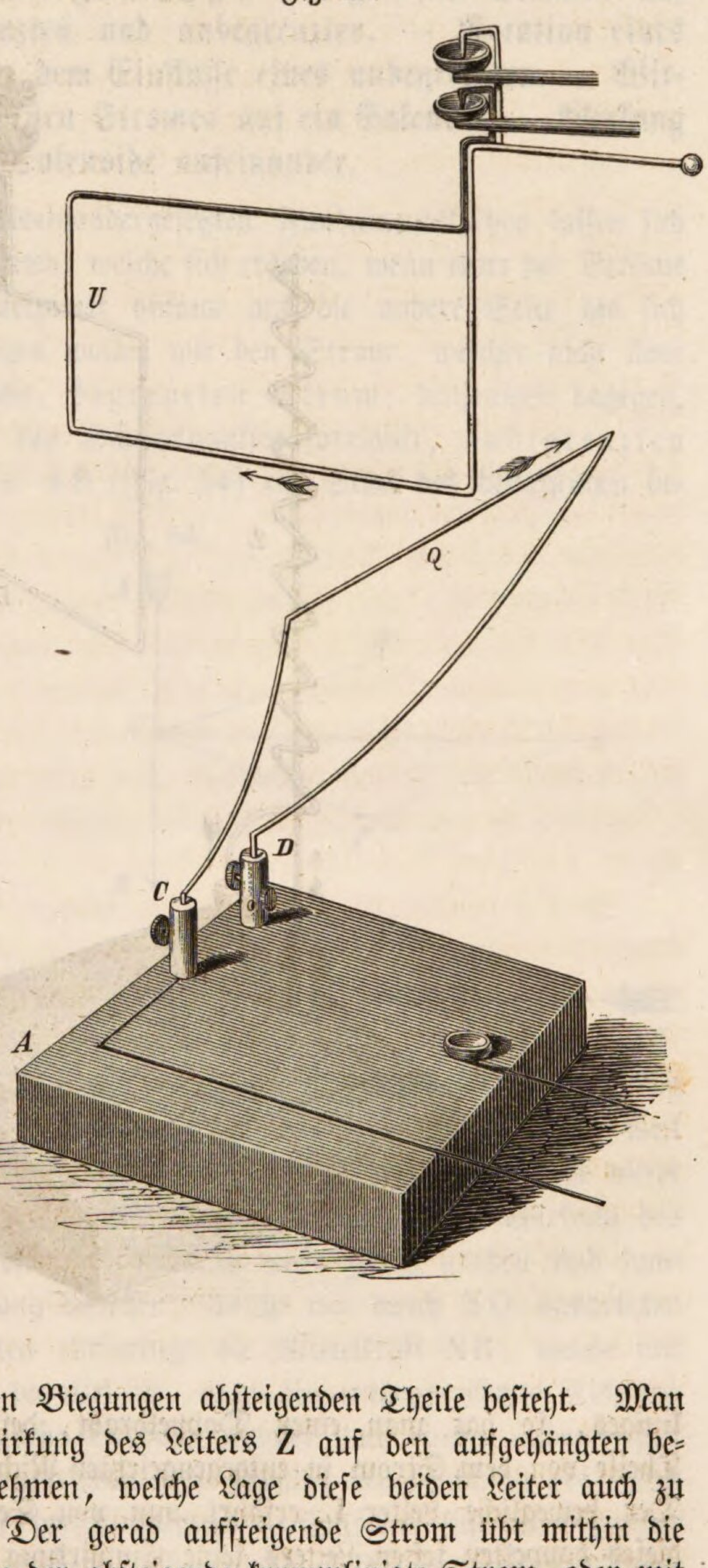
Dies vorausgeschickt wollen wir jetzt den einfachsten Fall betrachten, nämlich die Einwirkung zweier paralleler Ströme aufeinander. Ampère hat für die gegenseitige Einwirkung solcher Ströme folgendes Gesetz gefunden. Zwei parallele Ströme ziehen sich an, wenn sie nach derselben Richtung laufen; sie stoßen sich aber ab, wenn sie nach entgegengesetzter Richtung gehen. Um den ersten Theil dieses Gesetzes nachzuweisen, wird die Seite A B des Brettes von Ost nach West gestellt, aus einem Grunde, den wir später noch deutlicher werden einsehen lernen; hierauf der Apparat genau auf die oben beschriebene Weise hergerichtet, indem die Messingstreifen des Commutators auf die Leiter J und K gelegt werden; alsdann der positive Polardraht einer aus vier bis sechs Elementen bestehenden Bunsen'schen Kette in dem Säulchen P und der negative Polardraht in dem Säulchen N festgemacht, nachdem die Klemmschraube D mit der Klemmschraube E in leitende Verbindung gebracht worden. — Der bei P eintretende Strom theilt sich in zwei Zweige P C und P K: der erstere dieser Partialströme steigt in dem der Säule zunächst stehenden verticalen Arme des festen Leiters aufwärts, worauf er nach der Klemmschraube E und von hier nach dem negativen Pole N sich begibt. Der zweite erwähnter Partialströme geht nach dem Drahte T, steigt dann in dem dem festen Leiter M zunächst liegenden verticalen Arme des beweglichen rechteckigen Leiters L aufwärts, worauf er durch die Säule nach der Klemmschraube E und von letzterer zu dem negativen Pole N gelangt. Hat man nun, ehe die Kette geschlossen worden, den beweglichen Leiter so gestellt, daß seine

Ebene nicht ganz mit der des festen Leiters zusammenfällt; so wird beim Schlusse der Kette der bewegliche Leiter von dem festen lebhaft angezogen. Damit wäre denn das Gesetz der Anziehung zwischen parallelen und gleich gerichteten Strömen nachgewiesen. — Um das zweite Gesetz zu beweisen stellt man den Commutator so, daß seine Streifen auf den Säulen K und R zu liegen kommen. Der bei P eintretende Strom geht nach der Klemmschraube C, steigt wieder in dem der Säule zunächst liegenden verticalen Arme des festen Leiters aufwärts, begibt sich dann von der Klemmschraube D nach der Klemmschraube E, von welcher er zur Säule übergeht, hierauf in dem dem festen Leiter zunächst stehenden verticalen Arme des beweglichen Leiters abwärts steigt, von dem oberen kupfernen Schälchen mittelst des Drahtes T zu der Klemmschraube F kommt, welche ihn endlich zu dem negativen Pole gelangen läßt. — Schließt man nun die Kette, während die Ebene des beweglichen Drahtes in der des festen Leiters liegt; so wird sich der bewegliche Leiter augenblicklich aus jener Ebene heraus begeben. Eine derartige Bewegung kann nur in Folge der Abstoßung zwischen den in entgegengesetzter Richtung parallel laufenden Strömen in den beiden Drahtstücken sein. Hiernach wäre denn das zweite der oben angeführten Gesetze bewiesen. Hätten wir die Klemmschraube D mit der Klemmschraube F statt mit der Klemmschraube E leitend verbunden, so würden wir ganz zu den nämlichen Resultaten gekommen sein.

Zwei Ströme, deren Richtungen nicht parallel sind, ziehen sich an, wenn beide dem Scheitel des Winkels, den sie einschließen, zulaufen oder sich davon entfernen; dagegen stoßen sie sich ab, wenn der eine Strom nach dem Scheitelpunkte geht, der andere davon sich entfernt. Wenn beide Ströme nicht in einerlei Ebene liegen, gilt als Scheitelpunkt irgend ein Punkt der Geraden, welche ihre kleinste Distanz mißt. — Um dieses Gesetz nachzuweisen, wird das eine Ende des Drahts Q (Fig. 52) in der Klemmschraube C und das andere Ende desselben in der Klemmschraube D des elektrodynamischen Apparates befestigt und der mit einem passenden Gegengewicht versehene, rechtwinklig gebogene Draht U in die Kupferschälchen dergestalt aufgehängt, daß sein unterer Horizont oder Arm einen Winkel mit dem horizontal laufenden Arme des festen Drahtes Q bildet. Hat man nun den Commutator so gestellt, daß seine Streifen auf den Säulen J und K ruhen, während die Klemmschraube D mit der Klemmschraube E leitend verbunden ist; so läuft, wenn der Volta'sche Kreis geschlossen ist, der Strom sowohl im unbeweglichen wie im beweglichen Leiter vom Scheitelpunkt aus betrachtet nach derselben Richtung. Und in der That sieht man das bewegliche Rechteck sich drehen und seine untere Seite dem festen Stromleiter sich nähern. — Liegen dagegen die Streifen des Commutators auf den Säulen K und R, so gehen die Ströme in

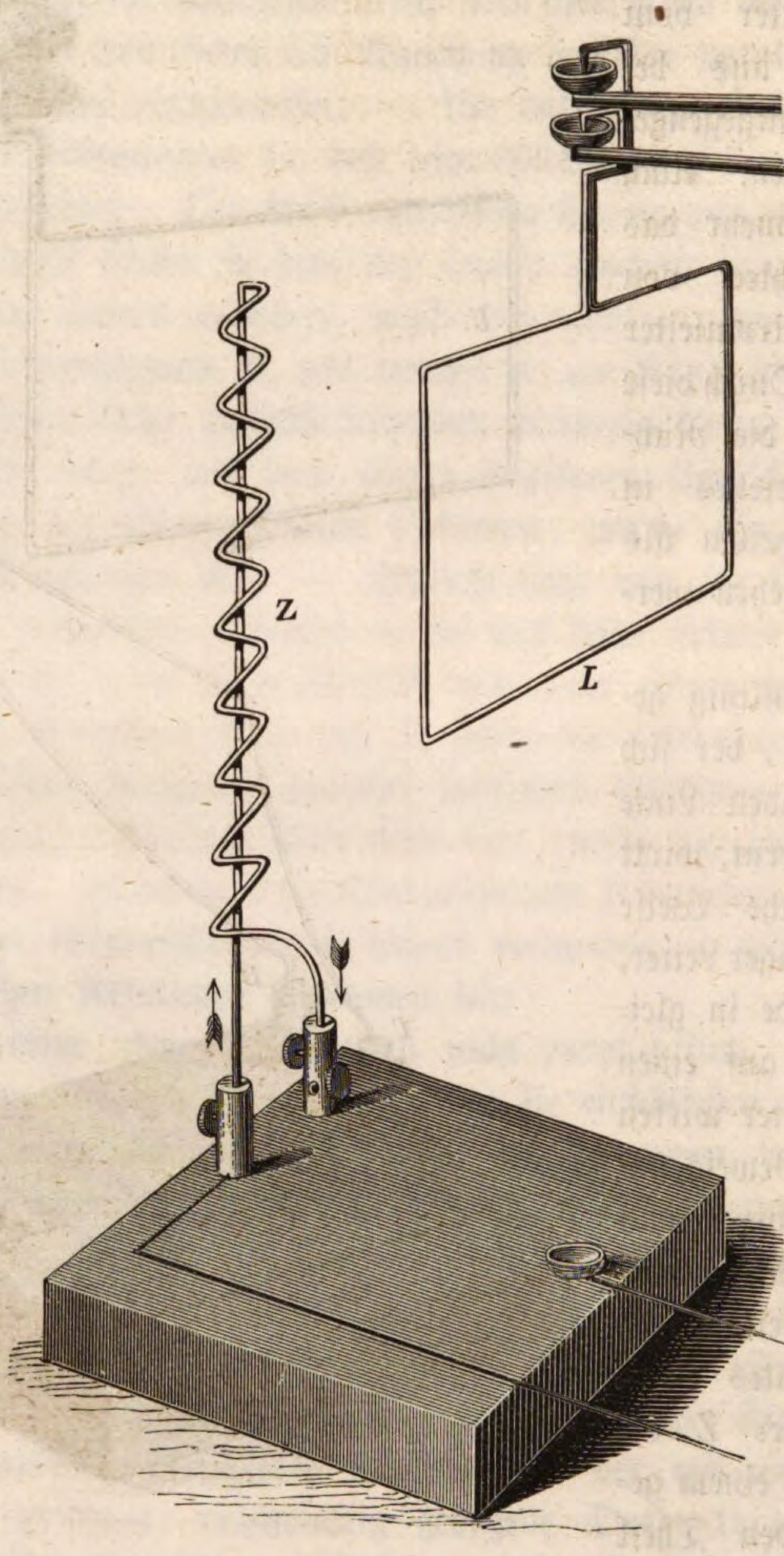
dem unbeweglichen und beweglichen Leiter vom Scheitelpunkte aus betrachtet nach entgegengesetzten Richtungen. Auch sieht man nunmehr das bewegliche Rechteck von dem festen Stromleiter sich entfernen. Durch diese Versuche kann die Richtigkeit des Gesetzes in seinen zwei Theilen als dargethan angesehen werden.

Fig. 52.




Ein krummlinig gebogener Strom, der sich von einer geraden Linie sehr wenig entfernt, wirkt auf die nämliche Weise wie ein geradliniger Leiter, wenn man beide in gleichem Abstande auf einen geradlinigen Leiter wirken läßt. — Der Beweis dafür ergibt sich, wenn man in die Klemmschrauben C und D des elektrodynamischen Apparates (Fig. 53) einen Leiter Z befestigt, der aus einem gerad aufsteigenden Theil und einem, ohne denselben zu berühren, in mehrfachen Biegungen absteigenden Theile besteht. Man wird durchaus keine Einwirkung des Leiters Z auf den aufgehängten beweglichen Leiter L wahrnehmen, welche Lage diese beiden Leiter auch zu einander haben mögen. Der gerad aufsteigende Strom übt mithin die nämliche Wirkung aus wie der absteigende krummlinigte Strom, oder mit anderen Worten, die Wirkung aller krummlinigen zwischen zwei Endpunkten enthaltenen Stromelemente kommt genau der Wirkung aller geradlinigen zwischen jenen Endpunkten begriffenen Stromelemente gleich. — Ersetzt man das krummlinige Drahtstück des Leiters Z durch ein gerad-

Fig. 53.

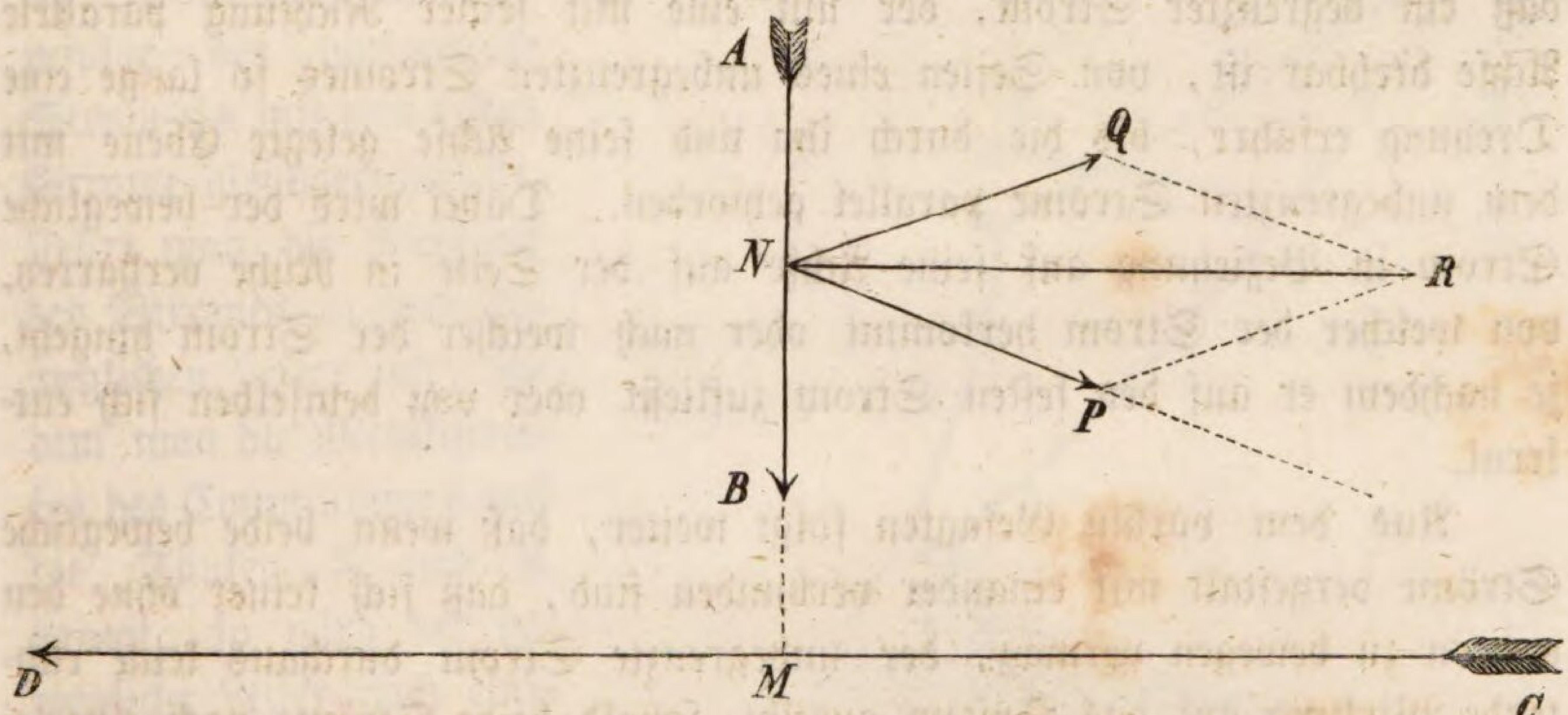



liniges, so hat man einen Doppeldraht, dessen beide verticale isolirte Theile von dem Strom in entgegengesetzten Richtungen durchlaufen werden. Der bewegliche Leiter L erfährt nun von Seiten der verticalen Theile dieses doppelten festen Leiters keine Einwirkung, in welche Lage auch jene Leiter zu einander gebracht sind. Daraus geht hervor, daß die in Rede stehenden Anziehungen und Abstoßungen bei derselben Intensität des Stromes und der nämlichen Entfernung gleich sind.

## 2. Einwirkung eines festen geradlinigen unbegrenzten Stromes auf einen beweglichen begrenzten und unbegrenzten. — Rotation eines begrenzten Stromes unter dem Einflusse eines unbegrenzten. — Wirkung eines geradlinigen festen Stromes auf ein Solenoid. — Wirkung der Solenoide aufeinander.

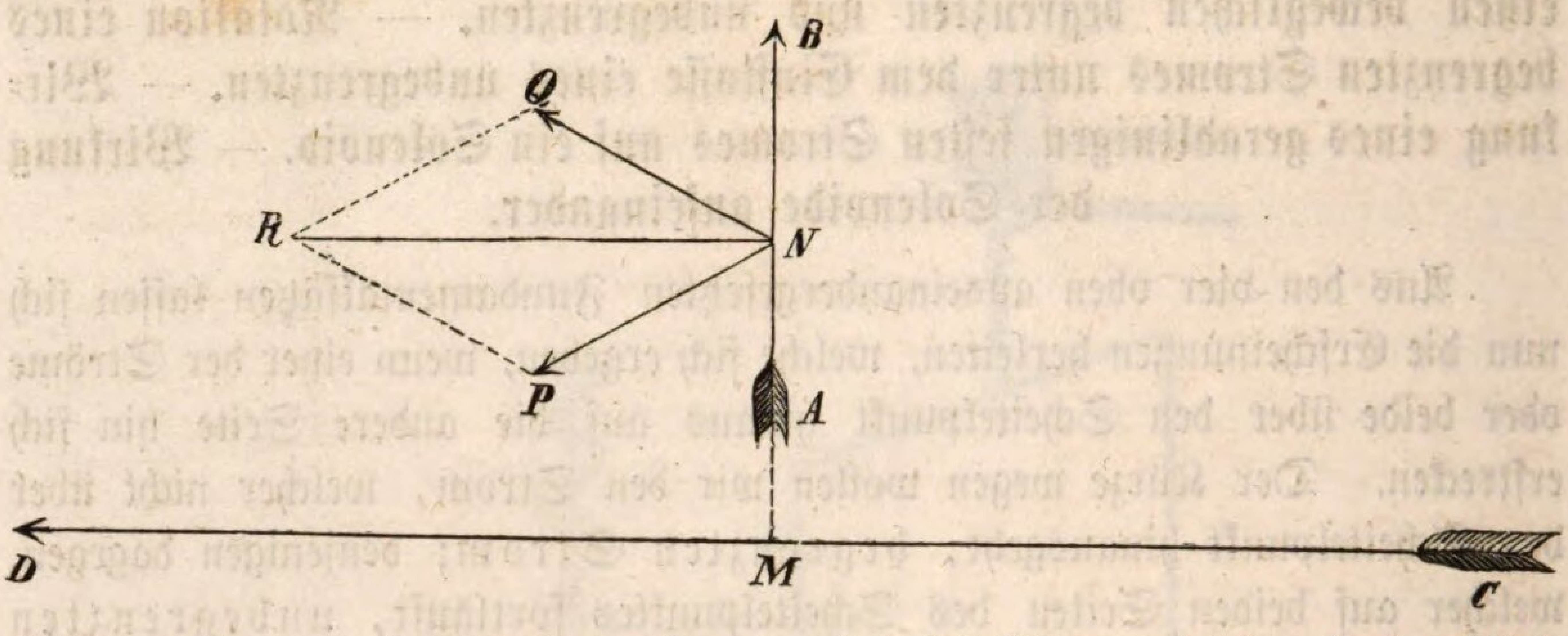
Aus den vier oben auseinandergesetzten Fundamentalsätzen lassen sich nun die Erscheinungen herleiten, welche sich ergeben, wenn einer der Ströme oder beide über den Scheitelpunkt hinaus auf die andere Seite hin sich erstrecken. Der Kürze wegen wollen wir den Strom, welcher nicht über den Scheitelpunkt hinausgeht, begrenzten Strom; denjenigen dagegen, welcher auf beiden Seiten des Scheitelpunktes fortläuft, unbegrenzten Strom nennen. — Es sei AB (Fig. 54) ein Stück des beweglichen be-

Fig. 54.




grenzten Stromes, welcher auf den unbegrenzten Strom CD rechtwinklig zufließt. Das Stück MC wirkt anziehend auf den Strom AB, weil beide gegen den Scheitelpunkt M hinfließen: die Richtung und Größe dieser Anziehung mag durch die Linie NP dargestellt sein. Die Wirkung des Stückes MD auf den Strom AB wird in einer gleich großen und symmetrisch gerichteten Abstoßung bestehen, welche wir durch NQ ausdrücken können. Aus beiden Kräften entspringt die Mittelkraft NR, welche mit dem unbegrenzten Strom parallel ist, aber die entgegengesetzte Richtung hat. Der begrenzte bewegliche Strom, welcher nach einem unbegrenzten hinläuft, wird demnach angetrieben sich parallel der Richtung des unbegrenzten Stromes entgegen fortzubewegen. — Entfernt sich der begrenzte Strom AB (Fig. 55) von dem unbegrenzten CD, so wird Anziehung zwischen AB und MD, dagegen Abstoßung zwischen AB und MC stattfinden. Die anziehende Kraft NP und abstoßende Kraft NQ werden eine Mittelkraft NR liefern, welche der Richtung des unbegrenzten Stromes folgt und mit ihm parallel ist. Ein begrenzter, beweglicher Strom, der

Fig. 55.

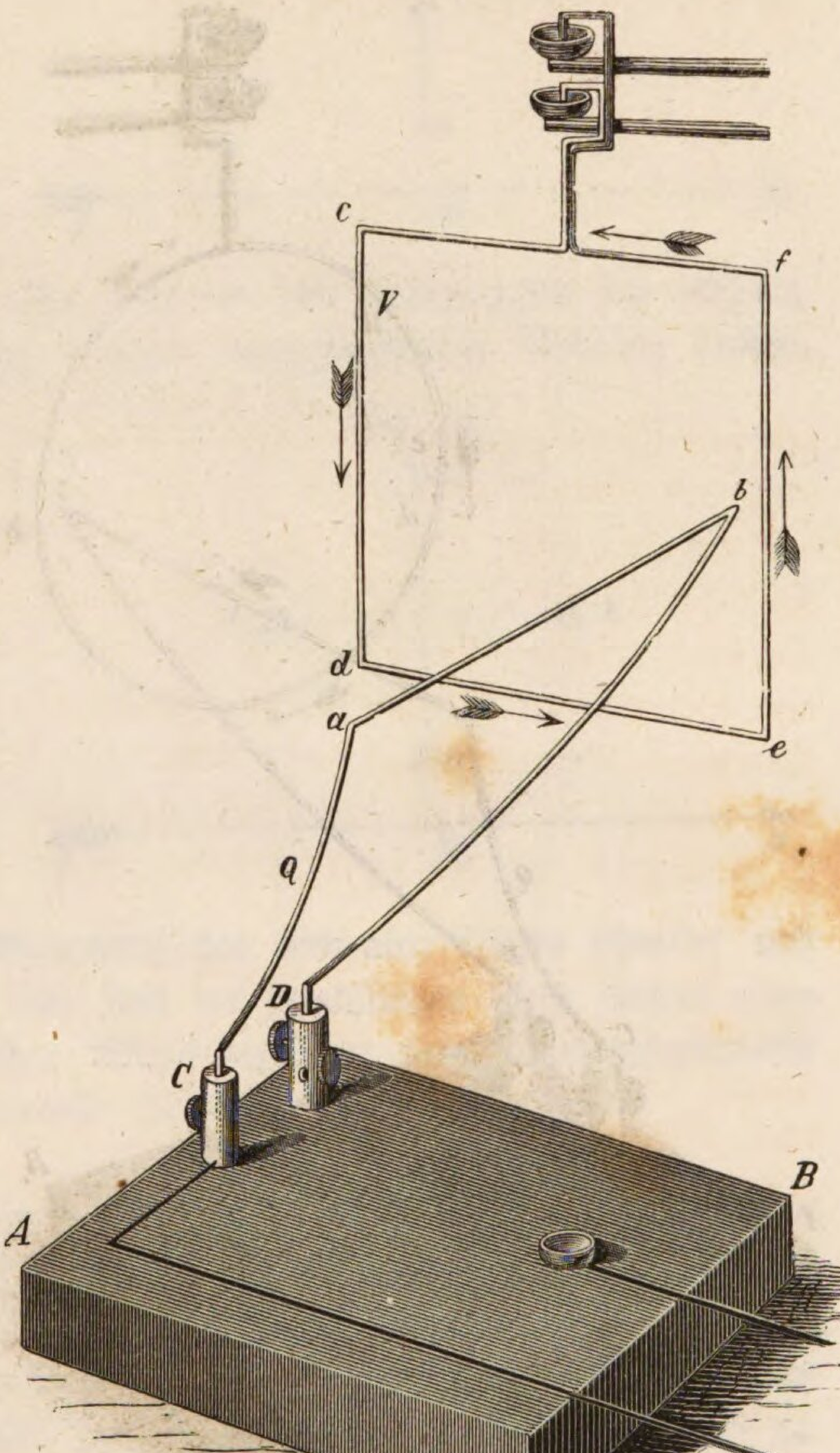



sich von einem unbegrenzten entfernt, wird folglich angetrieben in der Richtung des letztern fortzugehen. — Aus dem eben Gesagten folgern wir, daß ein begrenzter Strom, der um eine mit seiner Richtung parallele Achse drehbar ist, von Seiten eines unbegrenzten Stromes so lange eine Drehung erfährt, bis die durch ihn und seine Achse gelegte Ebene mit dem unbegrenzten Strome parallel geworden. Dabei wird der bewegliche Strom in Beziehung auf seine Achse auf der Seite in Ruhe verharren, von welcher der Strom herkommt oder nach welcher der Strom hingeht, je nachdem er auf den festen Strom zufließt oder von demselben sich entfernt.

Aus dem vorhin Gesagten folgt weiter, daß wenn beide bewegliche Ströme dergestalt mit einander verbunden sind, daß sich keiner ohne den andern zu bewegen vermag, der unbegrenzte Strom durchaus keine richtende Wirkung auf das System ausübt, sobald beide Ströme nach einerlei Richtung gehen. — Laufen dagegen die mit einander verbundenen Ströme nach entgegengesetzten Richtungen, so wird das System jener zwei Ströme auf ähnliche Weise wie die vorhin betrachteten einzelnen Ströme gerichtet. — Eine derartige richtende Wirkung erfährt ebenfalls ein beweglicher unbegrenzter Strom von Seiten eines festen unbegrenzten geradlinigen Stromes. Man befestige den viereckigen Metalldraht in den Klemmschrauben C und D des elektrodynamischen Apparates (Fig. 56) und hänge den rechteckig gebogenen Metalldraht V, dessen obere einander berührende Theile isolirt sind, dergestalt in den Kupferschälchen des Apparates auf, daß der Draht um eine verticale Achse sich drehen kann. Wenn die Metallstreifen des Commutators auf den Säulen J und K liegen, durchläuft der bei P eintretende Strom den unbeweglichen und beweglichen Leiter in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung, wobei ein Partialstrom in dem unteren Kupferschälchen wieder austritt, um nach dem negativen Rheophor N zu gelangen. Unter dem Einflusse des Stromes a b wird der absteigende Strom c d nach a, der aufsteigende e f nach **b** hingezogen, während der

horizontale Strom de eine mit dem Strome ab parallele Richtung anzunehmen bestrebt ist. Der bewegliche Leiter folgt dieser Einwirkung, dreht sich um seine Achse und kommt in der durch ab gehenden Verticalebene zur Ruhe. In dieser Ruhelage befindet sich der absteigende Strom cd auf der Seite der Rotationsachse, von welcher der feste Strom herkommt, und der aufsteigende auf der Seite, nach welcher der Strom hingeht, demzufolge der horizontale Strom de mit dem festen Strome gleichgerichtet ist. Kehrt man die Richtung des Stromes in dem beweglichen Leiter um, indem man die Metallstreifen des Commutators auf die Säulen K und R bringt; so wird der bewegliche Leiter nach einigen Oscillationen in einer der vorigen gerade entgegengesetzten Lage in Ruhe verharren, in welcher sich der Punkt E bei dem Ende A und der Punkt D bei B befindet.

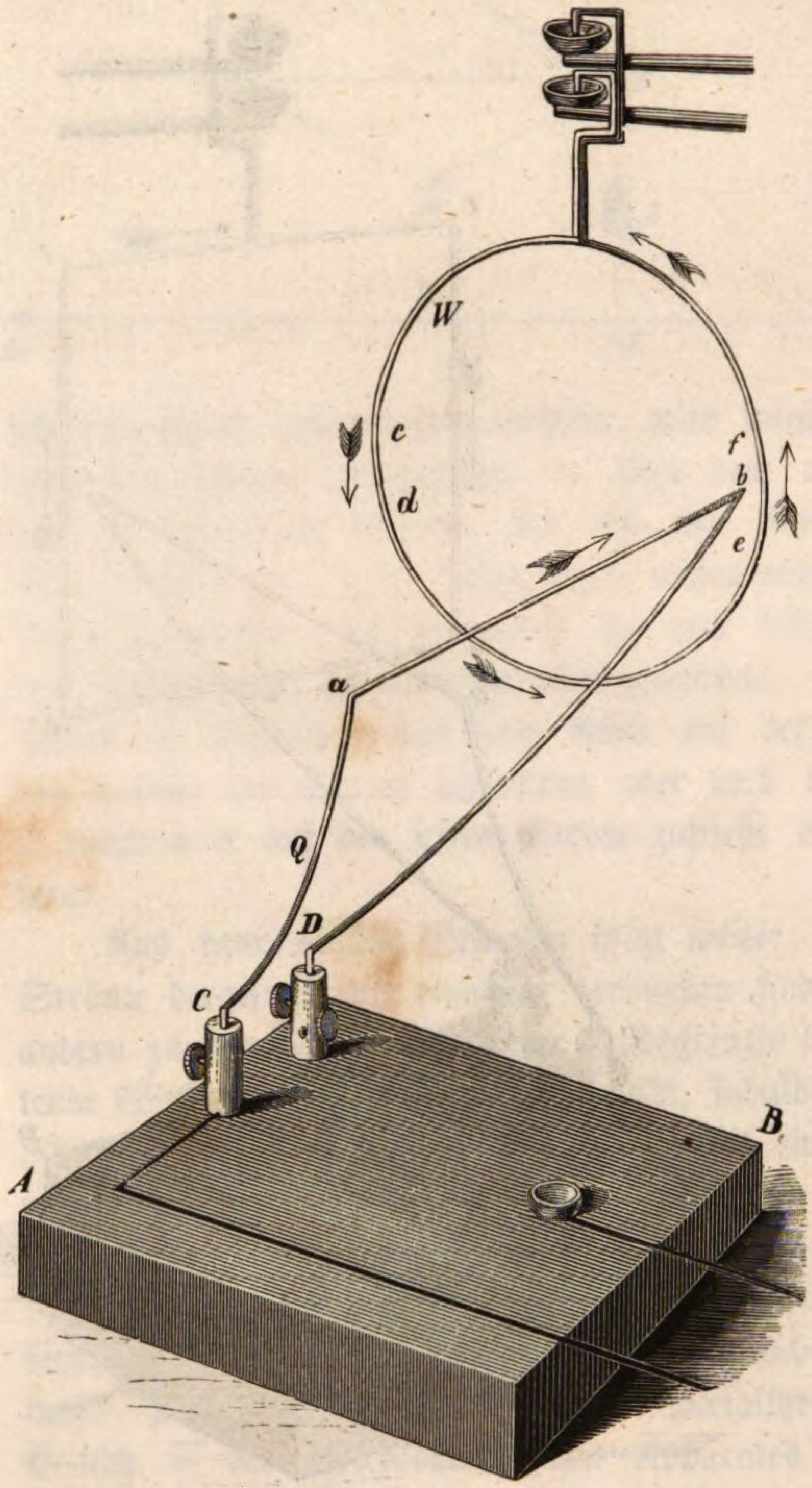
Fig. 56.




Bei der Betrachtung über die Wirkung eines unbegrenzten geradlinigen Stromes AB (Fig. 56) auf einen geschlossenen beweglichen Strom CDEF sind eigentlich zwei Fälle zu unterscheiden. Hat nämlich der Strom AB gegen den geschlossenen Strom CDEF eine solche Lage, daß seine Wirkungen auf DE und FC gleich groß sind; so heben sich diese gegenseitig auf und der bewegliche Leiter stellt sich dann vermöge der Einwirkung der senkrechten Ströme CD und EF in die mit AB parallele Richtung. — Hat dagegen der Strom ab gegen den ge-

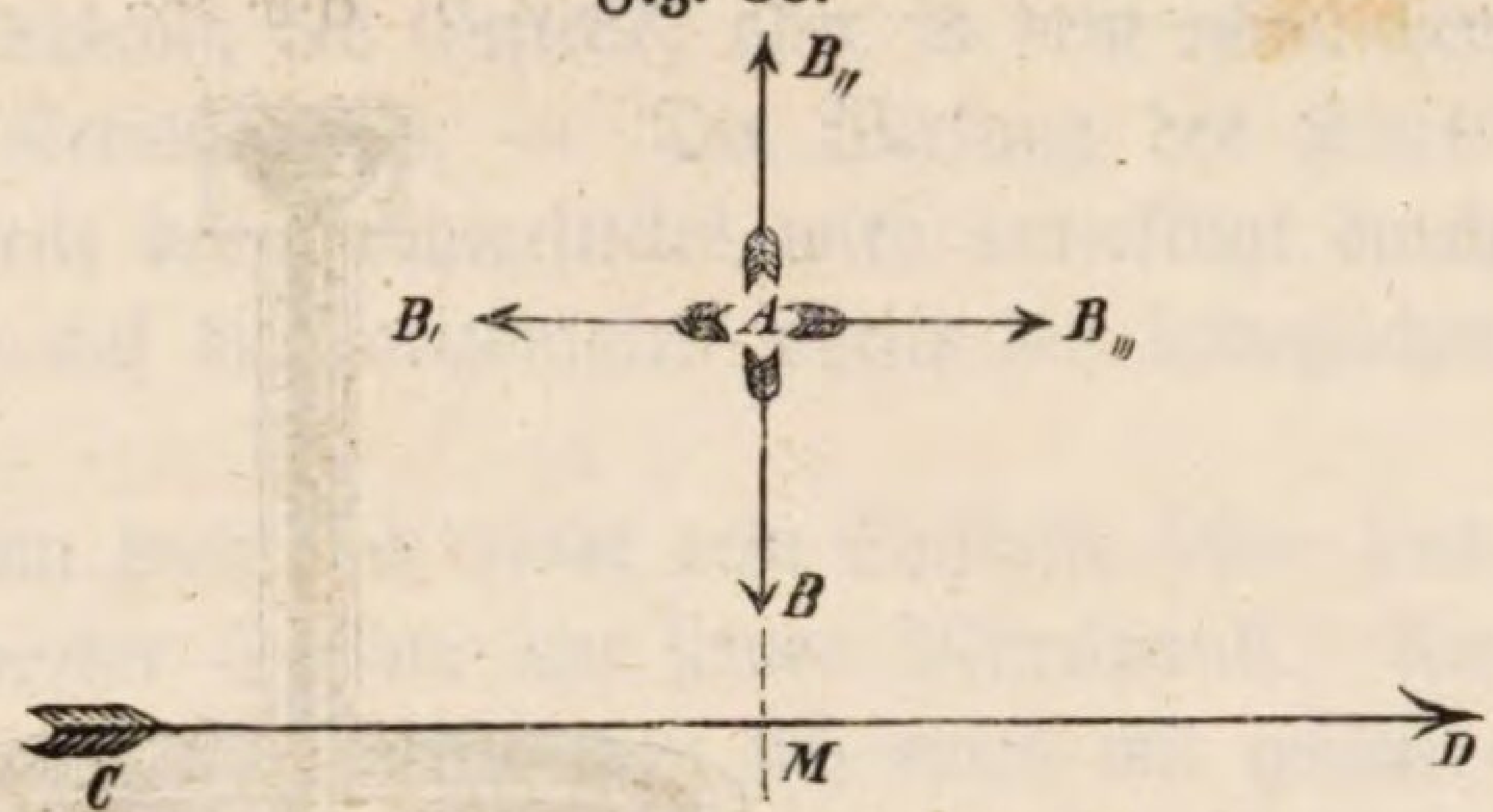
schlossenen Strom eine solche Stellung, daß seine Einwirkung auf den unteren Theil de bedeutend größer ist als auf den oberen Theil fc; so nimmt der geschlossene Leiter vorzugsweise vermöge der horizontalen Einwirkung des Stromtheiles de die zu ab gleichgerichtete Lage an. — Statt des rechteckigen Leiters V kann man auch den kreisförmigen W (Fig. 57) in Anwendung bringen. Denn die Wirkungen der krummlinigen Ströme cd und ef lassen sich in auf den Strom ab senkrechte und mit ihm parallele Wirkungen zerlegen. — Auch hier befindet sich der absteigende Strom auf der Seite, von welcher der Strom herkommt, und der aufsteigende auf der Seite, nach welcher der Strom fließt.

Fig. 57.



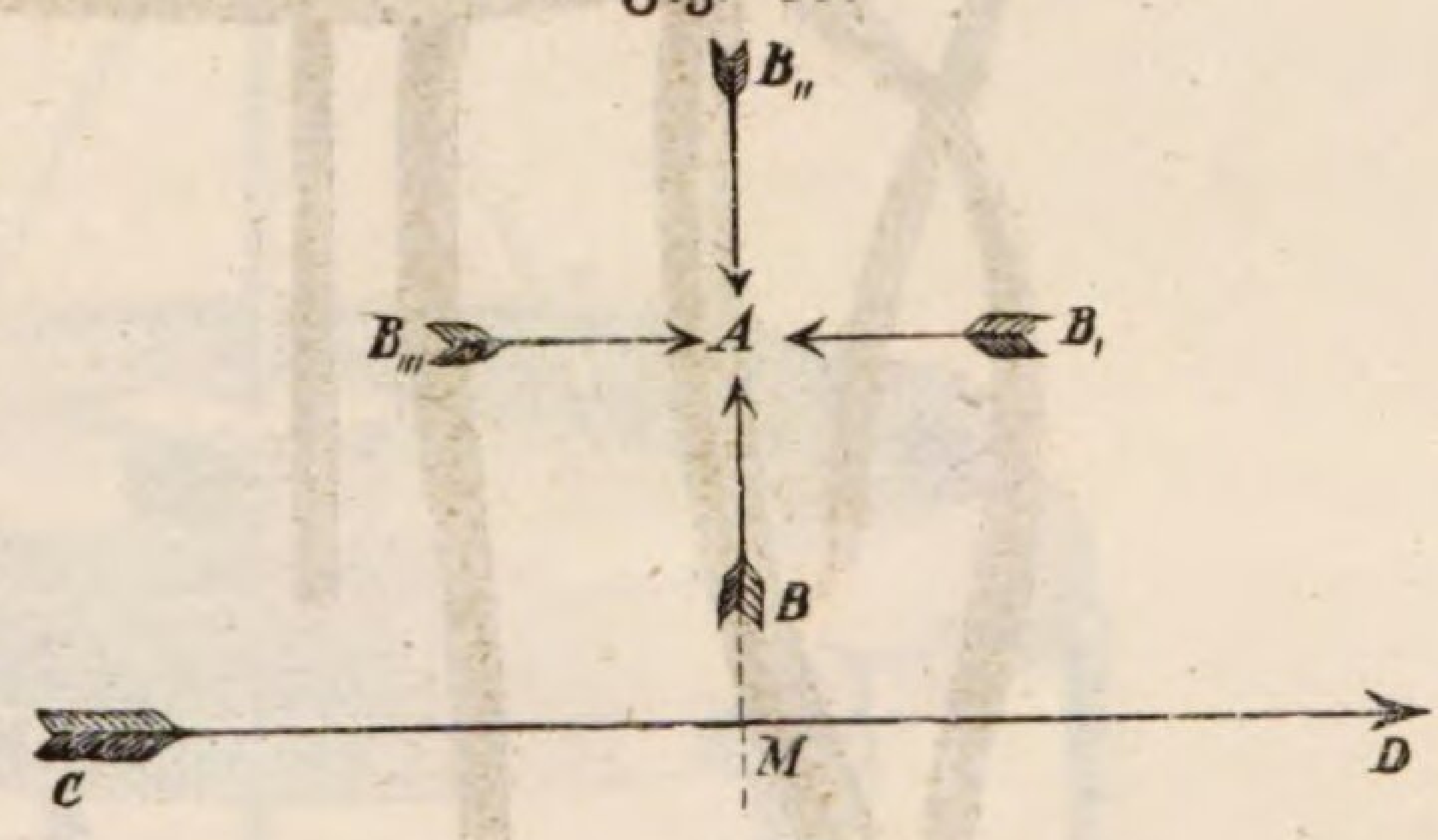

Die Anziehungen und Abstoßungen, welche zwischen Strömen stattfinden, die einen Winkel einschließen, vermögen auch continuirliche Rotationsbewegungen hervorzubringen. AB (Fig. 58) mag einen begrenzten, um A drehbaren Strom darstellen, der gegen den unbegrenzten CD hinfließt. Durch die Anziehung von CM und die Abstoßung von MD kommt der Strom in die Stellung AB′. Die beiden Ströme haben jetzt eine parallele und entgegengesetzte Richtung, was macht, daß der Strom AB′ abgestoßen wird und in die Lage AB″ gelangt. Hier wird er von MD angezogen und von CM abgestoßen, wodurch er die Lage AB‴ erhält. Nunmehr läuft er parallel und in der nämlichen Richtung

Fig. 58.



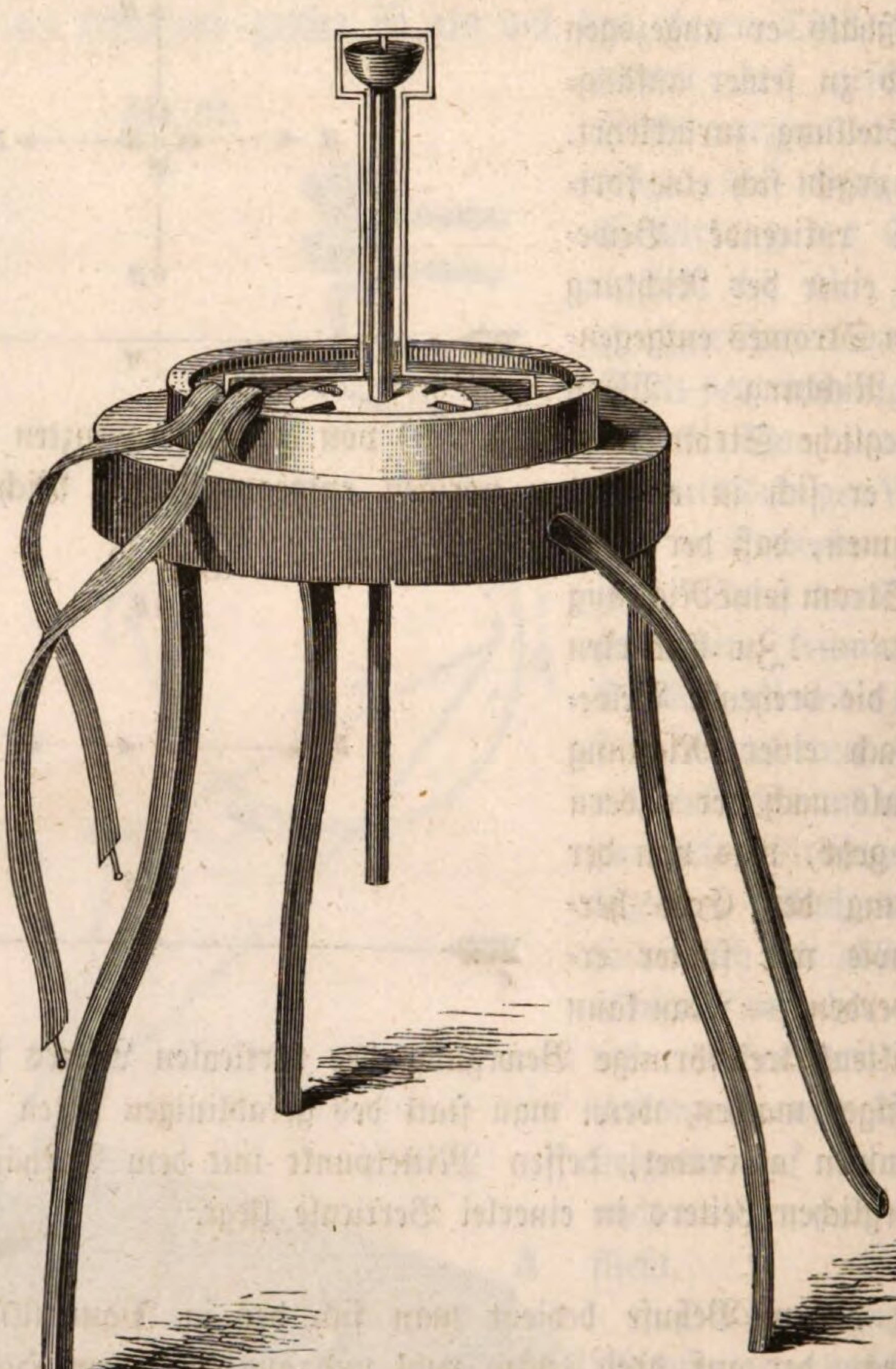

mit dem unbegrenzten Strome, weßhalb er angezogen wird und zu seiner anfänglichen Stellung zurückkehrt. Hieraus ergibt sich eine fortdauernde rotirende Bewegung in einer der Richtung des festen Stromes entgegengesetzten Richtung. — Wenn der bewegliche Strom B A (Fig. 59) von dem unbegrenzten sich entfernt, so wird er sich in einer der vorigen entgegengesetzten Richtung drehen, angenommen, daß der unbegrenzte Strom seine Richtung beibehält. — Zu bemerken ist, daß die drehende Bewegung nach einer Richtung rascher als nach der andern vor sich geht, was von der Einwirkung der Erde herrührt, wie wir später erörtern werden. — Man kann die anhaltend kreisförmige Bewegung des verticalen Leiters schneller und regelmäßiger machen, wenn man statt des geradlinigen festen Leiters einen kreisförmigen anwendet, dessen Mittelpunkt mit dem Aufhängungspunkte des beweglichen Leiters in einerlei Verticale liegt.

Fig. 59.




Zu diesem Behufe bedient man sich des in Figur 60 dargestellten Apparates, der auf drei Füßen ruht und aus trockenem Holze verfertigt ist. Um den kreisförmigen Holzrahmen wird ein umsponnener Kupferstreifen in mehreren Windungen herumgelegt, die alle zusammengenommen wie ein einziger kreisförmiger Leiter wirken. Dieser Rahmen bildet zugleich die äußere Wand einer kreisförmigen mit Quecksilber zu füllenden Rinne. Durch die Mitte des an die innere Wand der Rinne sich fest anschließenden Holzstückes wird ein starker Metalldraht gesteckt, der an seinem oberen Ende ein Quecksilbernäpfchen trägt. In dem Näpfchen hängt ein leicht bewegliches Drahtgestell, dessen beide unteren Enden die Oberfläche des in der Rinne enthaltenen Quecksilbers berühren. Endlich ist an dem Apparate ein dicker Kupferdraht angebracht, der mit dem Quecksilber in leitender Verbindung steht. — Läßt man nun den Strom einer constanten Batterie gleichzeitig in das eine Ende des Spiralbandes und an dem unteren Ende des mit dem Quecksilbernäpfchen versehenen Metall-

Fig. 60.

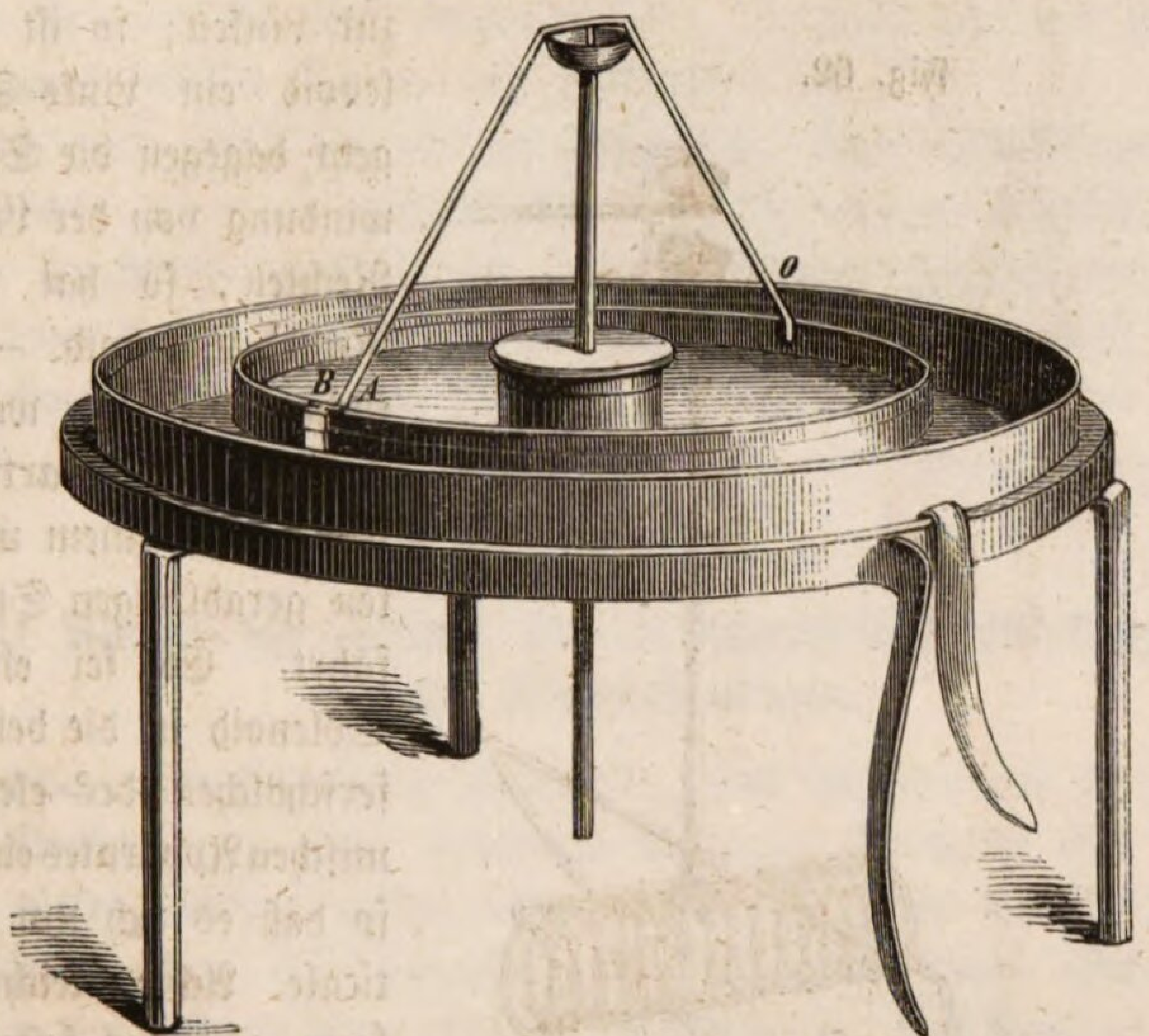


drahtes eintreten, während das andere Ende des Spiralbandes und der dicke Kupferdraht mit dem negativen Rheophor communiciren; so läuft ein Partialstrom mehrmals um die Rinne herum und ein zweiter durch das leicht bewegliche Drahtgestell herab nach dem Quecksilber und von da nach dem dicken Kupferdraht zu dem negativen Pole der Batterie. Der bewegliche Strom geht folglich nach dem festen hin, was eine Rotation des Gestells bewirkt, welche der des im Spiralbande circulirenden Kreisstromes entgegengesetzt ist. — Läßt man den Strom in dem Spiralbande in derselben Richtung wie vorhin durchlaufen, dagegen in dem dicken Kupferdraht eintreten und an dem unteren Ende des mit dem Quecksilbernäpfchen versehenen Metalldrahtes nach dem negativen Rheophor gelangen; so entfernt sich jetzt der bewegliche Strom von dem festen. In diesem

Falle erfolgt ebenfalls eine Drehung des Gestells, aber in dem nämlichen Sinne mit der Richtung des Kreisstromes. — Die Wirkung des Kreisstromes auf die verticalen Theile des Drahtgestelles wird unterstützt durch die Wirkung des Kreisstromes auf die horizontalen Theile des beweglichen Leiters.

Ein beweglicher Kreisstrom dreht sich unter dem Einflusse fester senkrecht zu seiner Peripherie gehender Ströme um seinen Mittelpunkt. Um dies durch den Versuch nachzuweisen, bedient man sich eines mit gesäuertem Wasser gefüllten kupfernen Gefäßes (Fig. 61), das auf drei Füßen

Fig. 61.

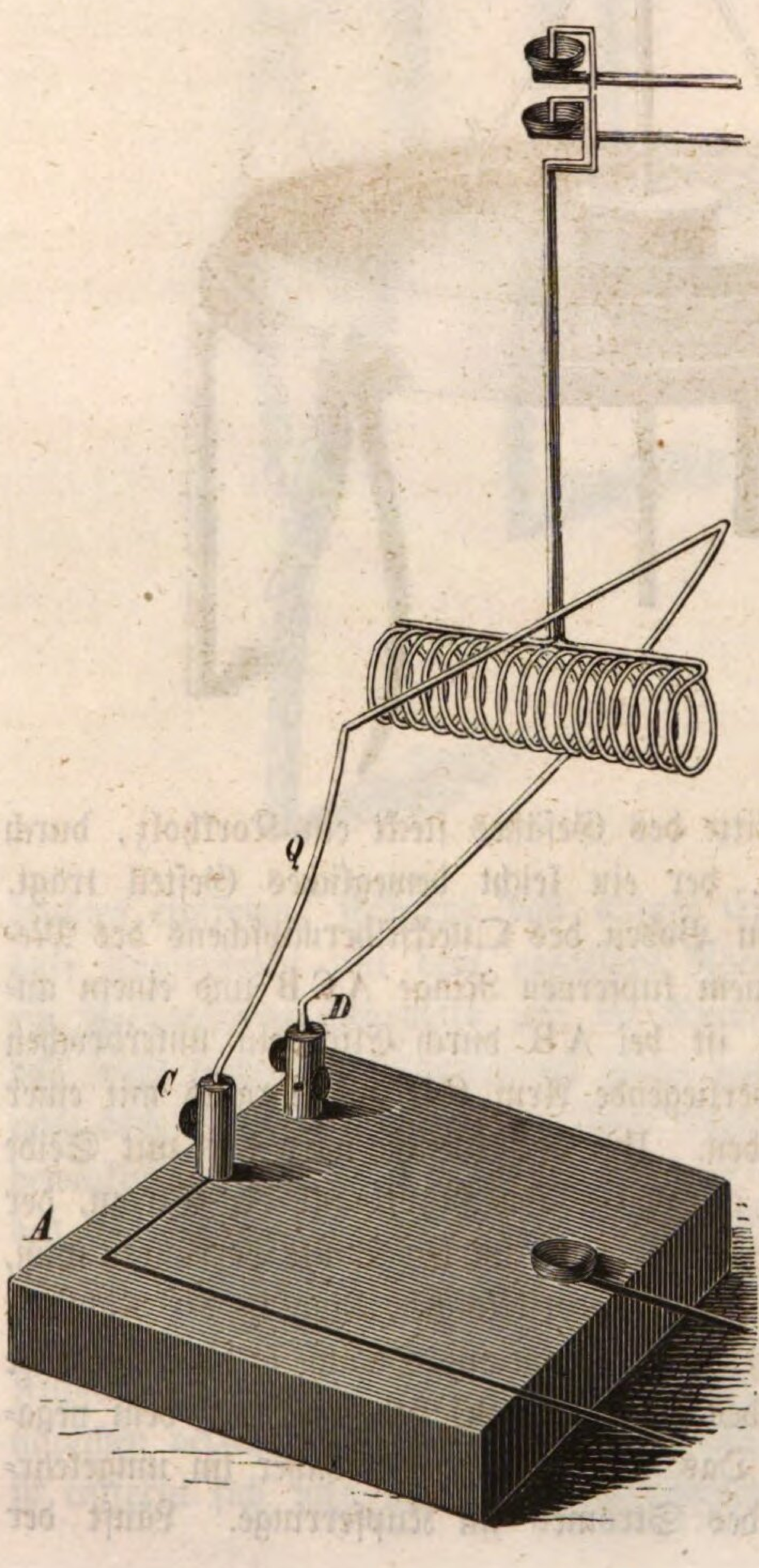



aus Kupfer steht. In der Mitte des Gefäßes steckt ein Korkholz, durch welches ein Metalldraht geht, der ein leicht bewegliches Gestell trägt. Dieses Gestell, welches auf dem Boden des Quecksilbernäpfchens des Metalldrahts ruht, besteht aus einem kupfernen Ringe ACB und einem angelötheten Drahte. Der Ring ist bei AB durch Elfenbein unterbrochen und der dem Elfenbein gegenüberliegende Arm CD des Drahts mit einer isolirenden Substanz E verbunden. Um das Gefäß wird das mit Seide übersponnene Multiplicatorband gelegt. — Durchläuft nun der Strom, der wegen des eingeschalteten Wassers von einer starken Säule herrühren muß, das Multiplicatorband einerseits und anderseits den Ring in der Richtung ACB; so gehen von allen Punkten des letzteren aus Ströme in die umgebende Flüssigkeit nach dem Umfange des kupfernen Gefäßes, um nach dem negativen Rheophor zu gelangen. Das Gestell dreht sich daher im umgekehrten Sinne mit der Richtung des Stromes im Kupferringe. Läuft der

Strom vom Gefäße nach dem Ringe, so wird die Richtung der drehenden Bewegung nicht geändert. — Wollte man die entgegengesetzte Rotationsbewegung hervorbringen, so müßte man den beweglichen Leiter dahin abändern, daß der Ring mit dem nach dem Quecksilbernäpfchen gehenden Drahte bei B statt bei A befestigt würde. — Die Rotationsbewegung ist in dem einen Falle schneller als in dem andern, weil die Wirkung der Erde auf den Ring seine Bewegung in dem einen Falle begünstigt und in dem andern Falle hindert.

Man kann zwei Arten von Solenoiden unterscheiden. Geht nämlich der Draht, wenn er schraubenförmig aufgewickelt wird, von der Rechten zur Linken; so ist das Solenoid ein Links-Solenoid; geht dagegen die Schraubenwindung von der Linken zur Rechten, so hat man ein Rechts-Solenoid. — Untersuchen wir jetzt, welche Einwirkung ein derartiges Solenoid von einem unbegrenzten geradlinigen Strome erfährt. Es sei ein Links-Solenoid in die beiden Kupferschälchen des elektrodynamischen Apparates eingehängt, so daß es sich um eine verticale Achse leicht drehen kann, und der feste Leiter Q (Fig. 62) in den Klemmschrauben C und D befestigt. Läßt man nun einen Strom durch den festen Leiter und das Solenoid in der Weise gehen, daß er in dem untern Schälchen eintritt, die Windungen des Solenoids von der Rechten zur Linken durchläuft und in dem obern Schälchen austritt; so wird sich das Solenoid dergestalt drehen, daß die Ströme in dem unteren oder oberen

Fig. 62.



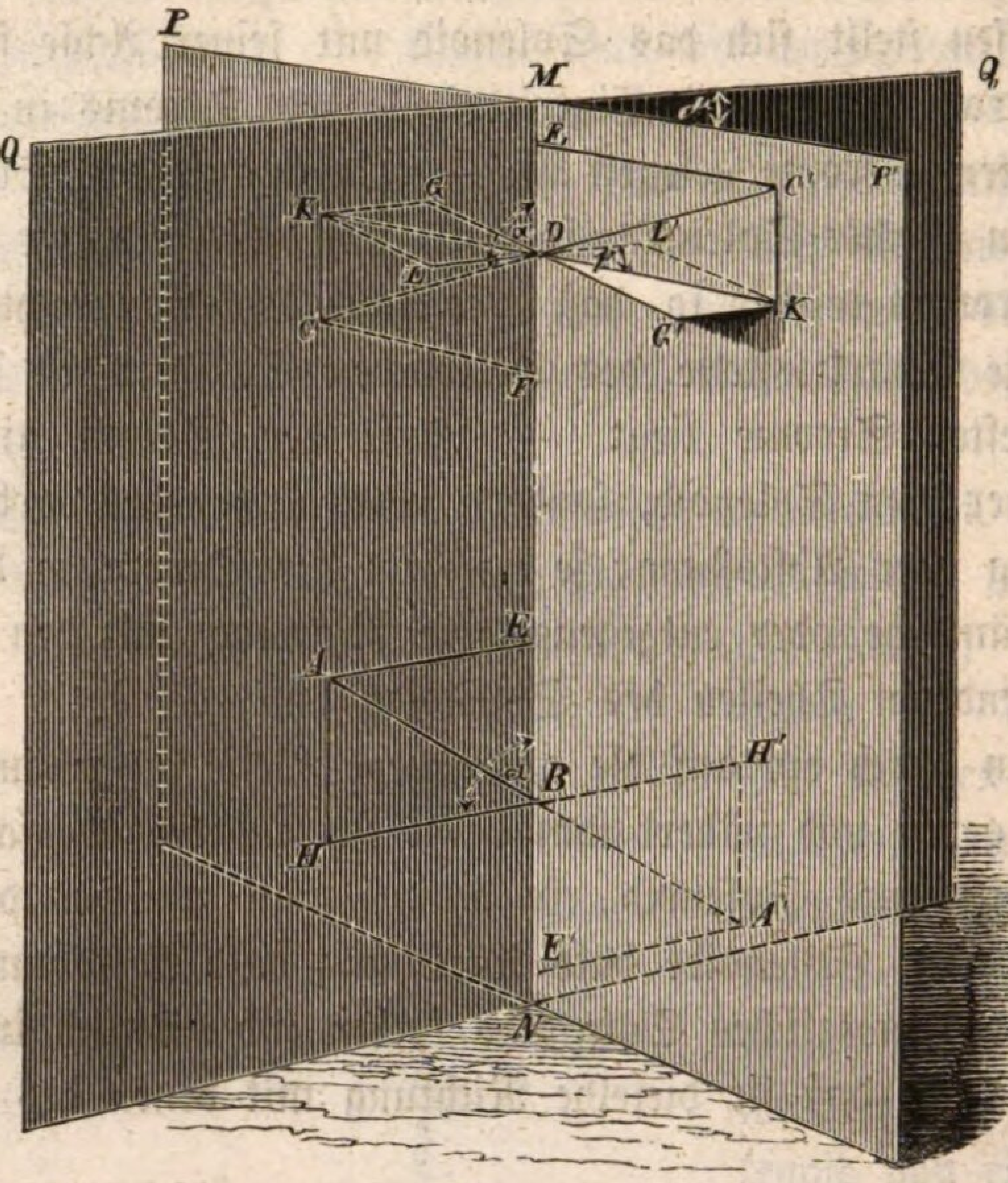
Theile der Windungen die nämliche Richtung wie der feste Strom haben. In Folge dessen stellt sich das Solenoid mit seiner Achse senkrecht gegen den festen Strom, so daß die Eintrittsstelle des Stroms in das Solenoid links vom festen Strome gelegen ist. — Durchläuft der Strom auf ähnliche Weise ein Rechts-Solenoid, so stellt sich dasselbe unter dem Einflusse des festen Stromes wieder so, daß seine Achse denselben rechtwinklig kreuzt, dabei aber die Eintrittsstelle des elektrischen Stromes in das Solenoid rechts vom festen Strome liegt. — Läuft der Strom nicht horizontal über oder unter dem Solenoid, sondern vertical daneben vorbei; so erfolgt eine Anziehung oder Abstoßung, je nachdem der Strom in dem verticalen Drahte die nämliche oder entgegengesetzte Richtung mit den Kreisströmen in den zugewendeten Theilen des Solenoids hat.

Läßt man durch ein auf die angegebene Weise aufgehängtes Solenoid einen Strom gehen und nähert ihm dann ein anderes ebenfalls von einem Strome durchflossenes Solenoid, so nimmt man zwischen den genäherten Enden jener beiden Solenoide bald Anziehung bald Abstoßung wahr. Die Kreisströme des beweglichen Solenoids suchen sich nämlich im Allgemeinen der Art zu stellen, daß sie dieselbe Richtung mit denen des unbeweglichen erhalten.

## 3. Die Ampère'sche Formel für die gegenseitige Wirkung zwischen zwei Stromelementen.

Ampère hat ein Gesetz aufgestellt, nach welchem sich die Einwirkung zweier Ströme von einer beliebigen Richtung berechnen läßt. Zur Herleitung dieses Gesetzes wollen wir nun schreiten. Es seien deßhalb $ABA'$ (Fig. 63) $= ds$, $CDC' = ds'$ zwei unendlich kleine Stromtheilchen; $BD = r$ der Abstand ihrer Mitten; $ABD = \alpha$, $CDM = \alpha'$ die Winkel, welche ihre Richtungen mit $BD$ bilden; $PMQ = \gamma$ der Winkel, den die beiden Ebenen $ABD$, $CDM$ mit einander machen; $i$, $i'$ die Intensitäten der beiden Ströme; $BH$, $AE$, $DL$ Senkrechte auf $BD$ in der Ebene $ABD$; $DK$, $CF$ Senkrechte auf derselben Linie in der Ebene $CDM$; endlich $DG$ senkrecht auf der Ebene $ABD$. — Für den nach $ABA'$ gerichteten Stromtheil $i\,ds$ lassen sich die beiden auf einander senkrecht stehenden Stromtheile $HBH'$ und $EBE'$ substituiren, welche durch $i\,ds \sin\alpha$ und $i\,ds \cos\alpha$ ausgedrückt werden. Ebenso lassen sich für den nach $CDC'$ gerichteten Strom $i'ds'$ die beiden nach $FDF'$ und $KDK'$ gerichteten Ströme substituiren, deren relative Intensitäten $i'ds' \cos\alpha'$ und $i'ds' \sin\alpha'$ sind. — Endlich können für den letzten Strom $i'ds' \sin\alpha'$ die beiden nach $LDL'$ und $GDG'$ gerichteten Ströme $i'ds' \sin\alpha' \cos\gamma$ und $i'ds' \sin\alpha' \sin\gamma$ gesetzt werden. — Auf diese Weise hätten wir denn zwei Ströme, deren Mitte $B$ ist und drei andere, deren Mittelpunkt in $D$

Fig. 63.




liegt. Es handelt sich jetzt darum, die gegenseitigen Wirkungen dieser beiden Systeme von Strömen zu bestimmen und deren nach BD wirkende Mittelkraft aufzufinden.

Die beiden Ströme HBH′ und FDF′ üben keine Wirkung auf einander aus, indem der Strom HB gegen den Punkt B hinfließt und der Strom FD von demselben Punkte sich entfernt. — Aus demselben Grunde äußern die beiden Ströme EBE′ und LDL′ keine gegenseitige Wirkung auf einander, wie dies denn auch für die beiden Ströme EBE′ und GDG′ einerseits und für die beiden Ströme HBH′ und GDG′ anderseits der Fall ist.

Von den sechs Strompaaren, deren einzelne Wirkungen zu bestimmen sind, bleibt folglich nur das Paar HBH′, LDL′ und das Paar EBE′, FDF′ übrig. Wird nun angenommen, einmal daß die entsprechenden Wirkungen dieser Strompaare, welche beide von B nach D gehen, den Produkten der Intensitäten der Ströme, woraus sie bestehen, proportional sind, dann daß jene Wirkungen im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung r ihrer Mitten stehen; so entspringt für die Totalwirkung f der beiden Stromelemente ds und ds′ der Ausdruck:

$$f = \frac{i\,i'\,ds\,ds'}{r^2}(\sin\alpha\sin\alpha'\cos\gamma + k\cos\alpha\cos\alpha').$$

Der Factor k ist ein constanter Coefficient, welcher das Verhältniß zwischen der Wirkung zweier nach derselben geraden Linien gerichteter Ströme zu jener zweier gleicher paralleler Ströme angibt.

Denkt man sich ein sphärisches Dreieck, dessen Seiten den Winkeln $\alpha$ und $\alpha'$ entsprechen und den Winkel $\gamma$ einschließen; so ist die dritte Seite $\beta$ oder der Winkel, welchen die Stromrichtungen A A' und C C' mit einander machen, durch die Formel

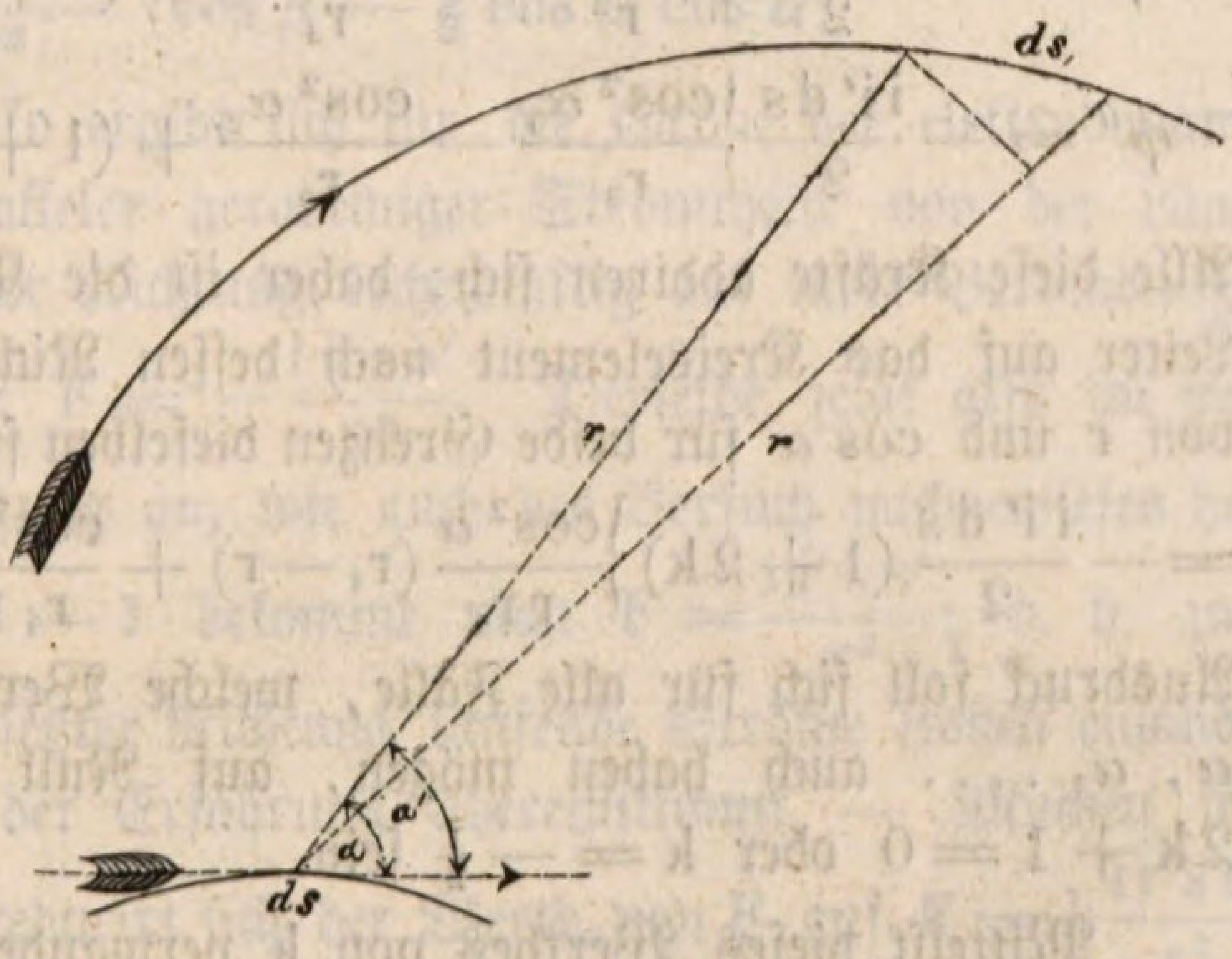
$$\cos\beta = \cos\alpha \cos\alpha' + \sin\alpha \sin\alpha' \cos\gamma$$

gegeben. Mittelst derselben verwandelt sich der oben aufgestellte Ausdruck für die Totalwirkung der beiden Stromelemente ds und ds' in folgenden:

$$f = \frac{i\,i'\,ds\,ds'}{r^2}\,(\cos\beta + (k-1)\cos\alpha\cos\alpha').$$

Was die Bestimmung des unbekannten Coefficienten k anlangt, so legen wir dabei die von Ampère gemachte Erfahrung zu Grunde, in Folge derer ein völlig geschlossener Leiter von irgend welcher Form keine Wirkung auf einen leicht beweglichen Kreisbogen von beliebiger Größe ausübt, dessen Mittelpunkt in eine verticale drehbare Achse fällt. Daraus folgt, daß die Mittelkraft aller von dem geschlossenen Leiter auf ein unendlich kleines Kreiselement nach der Richtung desselben ausgehender Wirkungen sich auf Null reducirt. Suchen wir die eben ausgesprochene Thatsache mit Hülfe der oben angeführten Formel darzustellen. Es seien deßhalb ds' (Fig. 64) ein beliebiges Element des beliebigen ebenen geschlossenen Leiters und ds das in derselben Ebene liegende unendlich kleine Kreiselement, von dessen Mitte nach den Endpunkten von ds' die Geraden r und $r_1$ gezogen sind, welche mit dem Element ds beziehungsweise die Winkel $\alpha$ und $\alpha_1$ bilden. Hiernach entsteht, weil $\cos\gamma = 1$ ist, der Ausdruck:

Fig. 64.




$$f = \frac{i\,i'\,ds}{r^2}\,(\sin\alpha \sin\alpha'\,ds' + k\cos\alpha\cos\alpha'\,ds').$$

Beschreibt man aus der Mitte von ds als Mittelpunkt mit $r_1$ den Bogen MN und setzt man r statt $r_1$, ferner $(\alpha_1 - \alpha)$ statt $\sin(\alpha_1 - \alpha)$, endlich $\frac{\alpha + \alpha_1}{2}$ statt $\alpha$, was geschehen darf; so hat man

$$ds'\sin\alpha' = r\sin(\alpha_1 - \alpha) \text{ und } ds'\cos\alpha' = r - r_1.$$

Dadurch kommt

$$f = \frac{i\,i'\,ds}{r^2}\left\{r\sin\left(\frac{\alpha + \alpha_1}{2}\right)\sin(\alpha_1 - \alpha) - k\,(r_1 - r)\cos\alpha\right\}.$$

Multiplicirt man das erste Glied des innerhalb der Klammern stehenden Ausdruckes mit $\cos\left(\frac{\alpha+\alpha_1}{2}\right)$ und das zweite mit $\cos\alpha$, setzt ferner $r r_1$ statt $r^2$; so bekommt man für die Elementarwirkung $\varphi$ des geschlossenen Leiters auf den unendlich kleinen Kreisbogen nach der Richtung desselben den Ausdruck:

$$\varphi = \frac{i i' d s}{r r_1}\left\{r \sin\left(\frac{\alpha+\alpha_1}{2}\right)\cos\left(\frac{\alpha+\alpha_1}{2}\right)\sin(\alpha_1-\alpha) - k(r_1-r)\cos^2\alpha\right\};$$

oder $\varphi = \frac{i i' d s}{2 r r_1}\left\{r \sin(\alpha+\alpha_1)\sin(\alpha_1-\alpha) - 2k(r_1-r)\cos^2\alpha\right\};$

oder $\varphi = \frac{i i' d s}{2 r r_1}\left\{r \cos^2\alpha - r\cos^2\alpha_1 - 2k(r_1-r)\cos^2\alpha\right\};$

oder $\varphi = -\frac{i i' d s}{2}\left\{\frac{\cos^2\alpha_1}{r_1} - \frac{\cos^2\alpha}{r} + (1+2k)\frac{(r_1-r)}{r r_1}\cos^2\alpha\right\}.$

Für die Elementarwirkungen $\varphi'$, $\varphi''$ ... der unmittelbar folgenden Stromtheilchen des geschlossenen Leiters ergeben sich nachstehende analoge Ausdrücke:

$$\varphi' = -\frac{i i' d s}{2}\left\{\frac{\cos^2\alpha_2}{r^2} - \frac{\cos^2\alpha_1}{r_1} + (1+2k)\frac{(r_2-r_1)}{r_2 r_1}\cos^2\alpha_1\right\};$$

$$\varphi'' = -\frac{i i' d s}{2}\left\{\frac{\cos^2\alpha_3}{r_3} - \frac{\cos^2\alpha_2}{r_2} + (1+2k)\frac{(r_3-r_2)}{r_3 r_2}\cos^2\alpha_2\right\}.$$

Alle diese Kräfte addiren sich; daher ist die Kraft, womit der geschlossene Leiter auf das Kreiselement nach dessen Richtung wirkt, da die Werthe von r und $\cos\alpha$ für beide Grenzen dieselben sind, $= \varphi + \varphi' + \varphi'' \ldots =$ $= -\frac{i i' d s}{2}(1+2k)\left\{\frac{\cos^2\alpha}{r r_1}(r_1-r) + \frac{\cos^2\alpha_1}{r_1 r_2}(r_2-r_1)\ldots\right\}$. Dieser Ausdruck soll sich für alle Fälle, welche Werthe die Größen $r, r_1 \ldots$ $\alpha, \alpha_1 \ldots$ auch haben mögen, auf Null reduciren; es muß daher $2k+1=0$ oder $k = -\frac{1}{2}$ sein.

Mittelst dieses Werthes von k verwandelt sich die Ampère'sche Formel in folgende:

$$f = -\frac{i i' d s d s'}{r^2}(\sin\alpha \sin\alpha' \cos\gamma - \tfrac{1}{2}\cos\alpha\cos\alpha');$$

oder in die gleichgeltende:

$$f = -\frac{i i' d s d s'}{r^2}(\cos\beta - \tfrac{3}{2}\cos\alpha\cos\alpha').$$

Die Richtung der Wechselwirkung für beide Stromelemente fällt mit ihrer Verbindungslinie zusammen; sie ist für die beiden Stromelemente entgegengesetzt oder abstoßend, wenn obiger Ausdruck positiv ist, im andern Falle für beide Stromelemente nach der nämlichen Richtung laufend oder anziehend. — Aus jener Fundamentalformel lassen sich mit Hülfe der

Integralrechnung die Ausdrücke für die Gesammtwirkung herleiten, welche zwei gegebene Stromleiter auf einander ausüben.

Der negative Werth $-\frac{1}{2}$ von k weist darauf hin, daß zwei Theile desselben geradlinigen Stromes eine abstoßende Kraft gegen einander ausüben. Folgender Versuch dient zur Bestätigung dieses theoretischen Ergebnisses. Man nehme ein durch eine nichtleitende Substanz in zwei Abtheilungen getheiltes Gefäß und fülle es zum Theil mit Quecksilber. Auf letzteres lege man einen mit Seide übersponnenen Kupferdraht, welcher aus zwei parallelen geradlinigen Theilen besteht, die durch einen Bogen mit einander verbunden sind, dergestalt, daß jeder der geraden Theile auf dem Quecksilber einer Abtheilung schwimmt, während der Verbindungsbogen über die Scheidewand geht, ohne sie zu berühren. Wenn man hierauf die beiden Reophoren einer starken Säule in der Nähe der nicht bewickelten Enden des umgebogenen Drahtes in die Flüssigkeit taucht, so sieht man diesen Draht auf ihrer Oberfläche nach dem andern Ende des Gefäßes sich bewegen.

Setzt man in der Ampère'schen Formel

$$f = -\frac{i\, i'\, ds\, ds'}{r^2}(\cos\beta - \tfrac{3}{2}\cos\alpha\cos\alpha')$$

$\beta = 0$, $\alpha = \alpha' = 90^0$; so ergibt sich für die Größe der elektrodynamischen Kraft F zweier paralleler geradliniger Stromtheile von der Länge s und s', welche bei gleicher Richtung rechtwinklig auf ihrer Verbindungslinie stehen, der Ausdruck: $F = -\frac{i\, i'\, s\, s'}{r^2}$. Derselbe zeigt also im vorliegenden Falle eine Anziehung an, wie auch der Versuch nachgewiesen hat. Für $\cos\beta = \cos 180^0 = -1$ bekommt man $F = \frac{i\, i'\, s\, s'}{r^2}$; d. h. zwei geradlinige nach entgegengesetzter Richtung laufende Ströme stoßen einander ab, was gleichfalls mit der Erfahrung übereinstimmt. — Machen wir $\beta = 0$, $\alpha = \alpha' = 0$, so reducirt sich der Werth von F auf $F = \frac{1}{2}\frac{i\, i'\, s\, s'}{r^2}$; für diesen Fall findet abermals eine Abstoßung statt, was mit der vorhin gemachten Bemerkung über die gegenseitige Einwirkung zweier Theile desselben geradlinigen Stromes genau zutrifft. — Für $i = i'$ geht die Formel $F = \frac{i\, i'\, s\, s'}{r^2}$ in $F = \frac{i^2\, s\, s'}{r^2}$ über: dem Grundprincipe der Elektrodynamik zufolge ist also die Kraft, mit welcher zwei Leitungsdrähte von gleicher Stromintensität auf einander wirken, dem Quadrate dieser Intensität proportional. — Für die Wechselwirkung zweier Kreisströme, deren einer von dem Radius a fest in der Ebene des magnetischen Meridians steht, und der andere von dem Radius a' senkrecht gegen diese Ebene aufgehängt ist, so daß die Verbindungslinie der beiden Mittelpunkte der Kreise

mit genannter Ebene zusammenfällt, gibt die Ampère'sche Formel folgenden in der mathematischen Physik entwickelten Ausdruck: $F = -\frac{\pi^2 a^2 a'^2}{2 r^3} . i i'$, vorausgesetzt, daß der Abstand r der beiden Mittelpunkte groß im Vergleich gegen a und a' ist. Bezeichnen λ und λ' die Flächenräume der Kreise, so verwandelt sich der obige Ausdruck in folgenden:

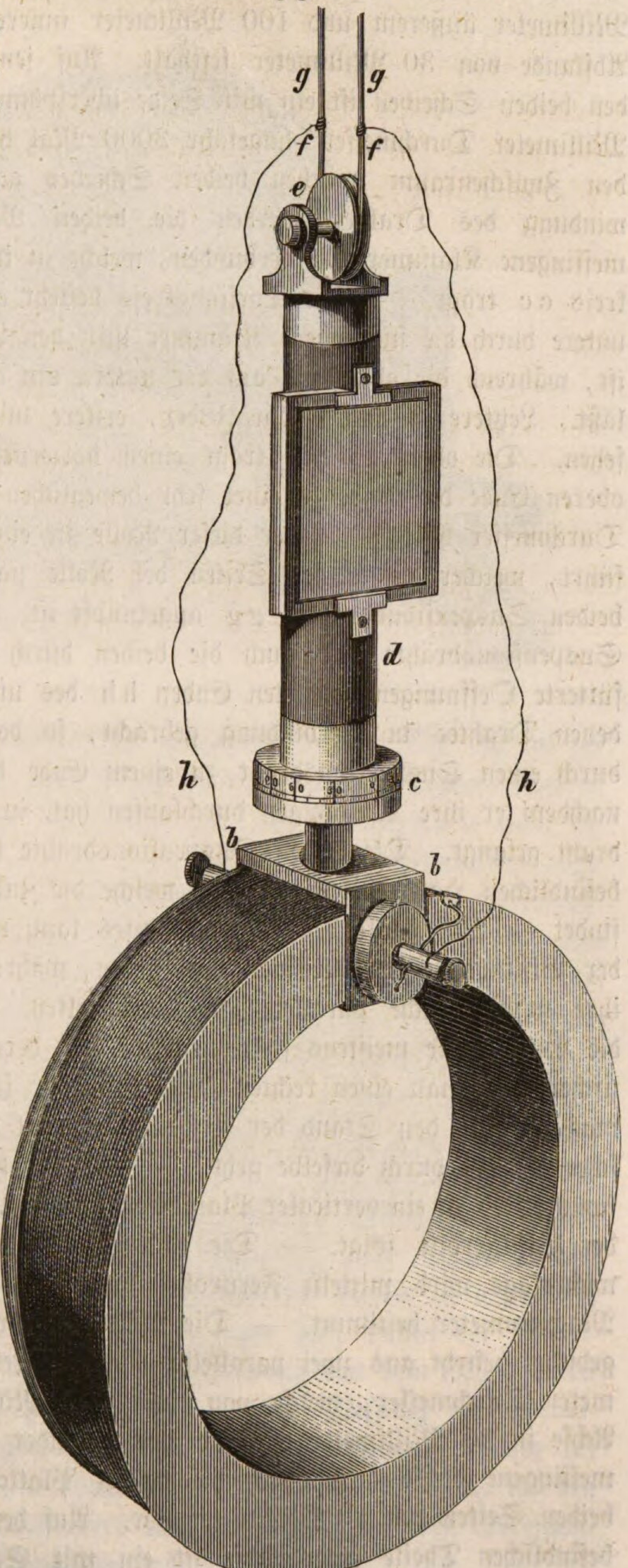
$$F = -\tfrac{1}{2} \frac{\lambda \lambda' i i'}{r^3}.$$

In dieser Form stellt er zugleich das Drehungsmoment dar, welches ein derartiger kleiner Planstrom auf einen andern in großer Entfernung ausübt. — Sind dagegen die beiden Kreise so zu einander gestellt, daß die Verbindungslinie beider Mittelpunkte senkrecht gegen die magnetische Meridianebene steht; so gibt die Ampère'sche Formel für diesen Fall den Ausdruck: $F = -\frac{\pi^2 a^2 a'^2 i i'}{r^3} = \frac{-i i' \lambda \lambda'}{r^3}$. Unter sonst gleichen Umständen ist mithin im vorliegenden Falle die Wechselwirkung der beiden Ströme doppelt so groß als jene solcher Ströme in dem vorhergehenden Falle.

## 4. Elektrodynamischer Rheometer von Weber.

Die Ampère'schen Versuche haben zwar die Wechselwirkung der elektrischen Ströme auf unzweifelhafte Weise dargethan; doch sind jene Versuche insofern mangelhaft, als sie nicht gestatten, die dahin einschlagenden Erscheinungen nach Zahl und Maß zu bestimmen. — Dabei ist die Reibung an den beiden Spitzen der aufgehängten Drähte häufig zu bedeutend, um von den galvanischen Strömen überwunden zu werden; woher es denn kommt, daß öfters keine wahrnehmbare Wirkung sich zeigt, wo solche zu erwarten stand. Es war deßhalb wünschenswerth, dergleichen störende Reibungen zu vermeiden, welche die ganze oder einen großen Theil der zu beobachtenden elektrodynamischen Kraft aufhoben und der Wahrnehmung entzogen. — Diese Mängel hat der berühmte deutsche Physiker Weber durch seinen sinnreich erdachten elektrodynamischen Rheometer oder Elektrodynamometer zu beseitigen gewußt, durch dessen Anwendung es möglich wird, die elektrodynamischen Messungen mit dem nämlichen Grad von Genauigkeit und Schärfe wie die elektromagnetischen auszuführen. — Ueberdies hat das Elektrodynamometer noch den Vortheil, daß es gewisse Arten von elektrischen Strömungen zu erkennen gibt, welche sonst nicht wahrnehmbar wären. Wechseln nämlich bei einem Elektromotor die entgegengesetzten Ströme sehr schnell mit einander ab, so wird kein anderes Rheometer eine elektrische Strömung anzeigen, indem die Wirkung jedes einzelnen Stromes durch die des folgenden vollständig aufgehoben wird.

Fig. 65.

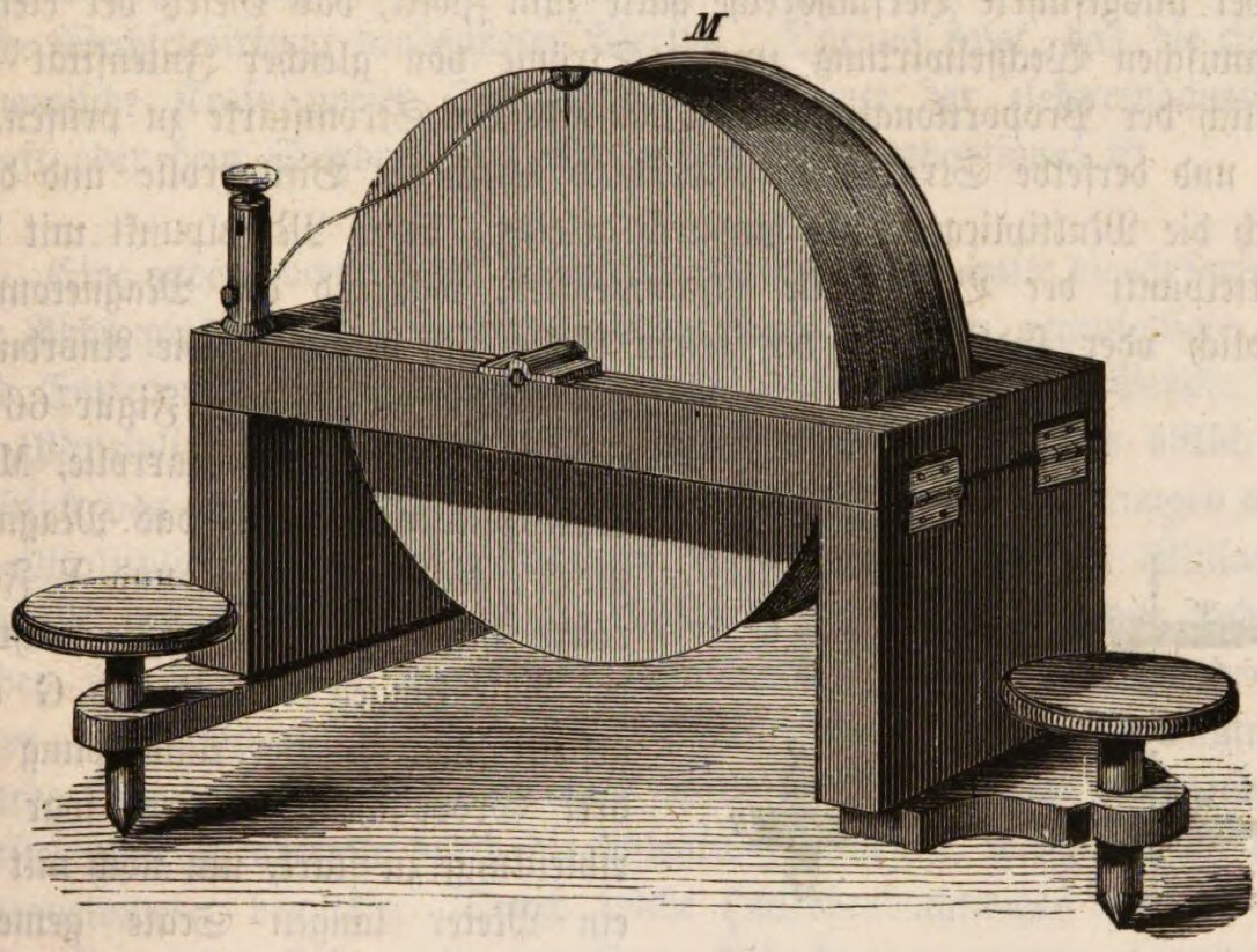



Anders verhält es sich in dieser Beziehung bei dem Elektrodynamometer, denn wenn die Drahtverbindungen im Inneren des Instrumentes ungeändert bleiben, kann man den Strom umkehren, ohne dadurch den Sinn der Ablenkung am Apparat zu ändern. Indem nämlich die Richtung der Ströme in beiden Rollen zugleich umgekehrt wird, geschieht es, daß die Ströme in denjenigen Theilen der Windungen, in welchen sie vorher gegen den Durchschnittspunkt hinflossen, nachher von demselben sich entfernen und in dem einen wie in dem andern Falle eine Anziehung zur Folge hat. Bei dem Elektrodynamometer addiren sich mithin die Wirkungen der entgegengesetzten Ströme, wodurch eine meßbare Ablenkung an demselben zu Tage kommt.

Das Elektrodynamometer besteht wesentlich aus zwei Theilen: aus der **Bifilarrolle** mit Spiegel und aus der **Multiplicatorrolle**. Die Bifilarrolle B in Figur 65 dargestellt, besteht aus einem dünnen Messingringe von 100 Millimeter Durchmesser

und 30 Millimeter Höhe, welcher zwei parallele Messingscheiben von 123 Millimeter äußerem und 100 Millimeter innerem Durchmesser in einem Abstande von 30 Millimeter festhält. Auf jenem Messingring zwischen den beiden Scheiben ist ein mit Seide übersponnener Kupferdraht von 1/8 Millimeter Durchmesser ohngefähr 3000 Mal herumgewunden, so daß er den Zwischenraum zwischen beiden Scheiben ganz ausfüllt. Nach Aufwindung des Drahtes werden die beiden Messingscheiben durch eine messingene Klammer b b verbunden, welche in ihrer Mitte den Torsionskreis c c trägt. — Der Torsionskreis besteht aus zwei Scheiben, deren untere durch die messingene Klammer mit der Bifilarrolle fest verbunden ist, während die obere sich auf der untern um eine verticale Achse drehen läßt. Letztere ist mit einem Index, erstere mit einer Kreistheilung versehen. Die obere Scheibe trägt einen hölzernen Zapfen d, welcher am oberen Ende die Gabel e einer sehr beweglichen Rolle von 20 Millimeter Durchmesser hält. — Unter dieser Rolle ist ein seidener Faden f hingeführt, welcher auf beiden Seiten der Rolle nach oben geht und an den beiden Suspensionsdrähten g g angeknüpft ist. Mit den zwei Enden der Suspensionsdrähte sind auch die beiden durch kleine mit Elfenbein gefütterte Oeffnungen geleiteten Enden h h des um die Bifilarrolle gewundenen Drahtes in Verbindung gebracht, so daß der galvanische Strom durch einen Suspensionsdraht zu einem Ende der Bifilarrolle geht und nachdem er ihre Windungen durchlaufen hat, in den andern Suspensionsdraht gelangt. Die beiden Suspensionsdrähte sind an zwei an der Decke befindlichen Haken befestigt, durch welche die Zuleitung des Stromes stattfindet. — Mit Hülfe des Torsionskreises kann man der horizontalen Achse der Bifilarrolle jede beliebige Lage geben, während die Suspensionsdrähte ihre ursprüngliche parallele Lage beibehalten. Bei den Versuchen wird die Bifilarrolle meistens so eingestellt, daß deren Ebene mit dem magnetischen Meridian einen rechten Winkel bildet, in welchem Falle der Erdmagnetismus den Stand der Bifilarrolle nicht ändert, wenn ein galvanischer Strom durch dieselbe geht. — An dem hölzernen Zapfen des Torsionskreises ist ein verticaler Planspiegel befestigt, welcher allen Bewegungen der Bifilarrolle folgt. — Die Ablenkung der Rolle aus ihrer Gleichgewichtslage wird mittelst Fernrohr und Skala wie bei dem Gauß'schen Magnetometer bestimmt. — Die Multiplicatorrolle M in Fig. 65 a. abgebildet besteht aus zwei parallelen dünnen Messingplatten von 89 Millimeter Durchmesser, welche von einer 5 1/2 Millimeter dicken messingenen Achse in 30 Millimeter Abstand von einander festgehalten werden. Die messingene Achse geht durch die beiden Platten hindurch und ragt auf beiden Seiten um 10 Millimeter vor. Auf dem zwischen beiden Scheiben befindlichen Theile jener Achse ist ein mit Seide übersponnener Kupfer-

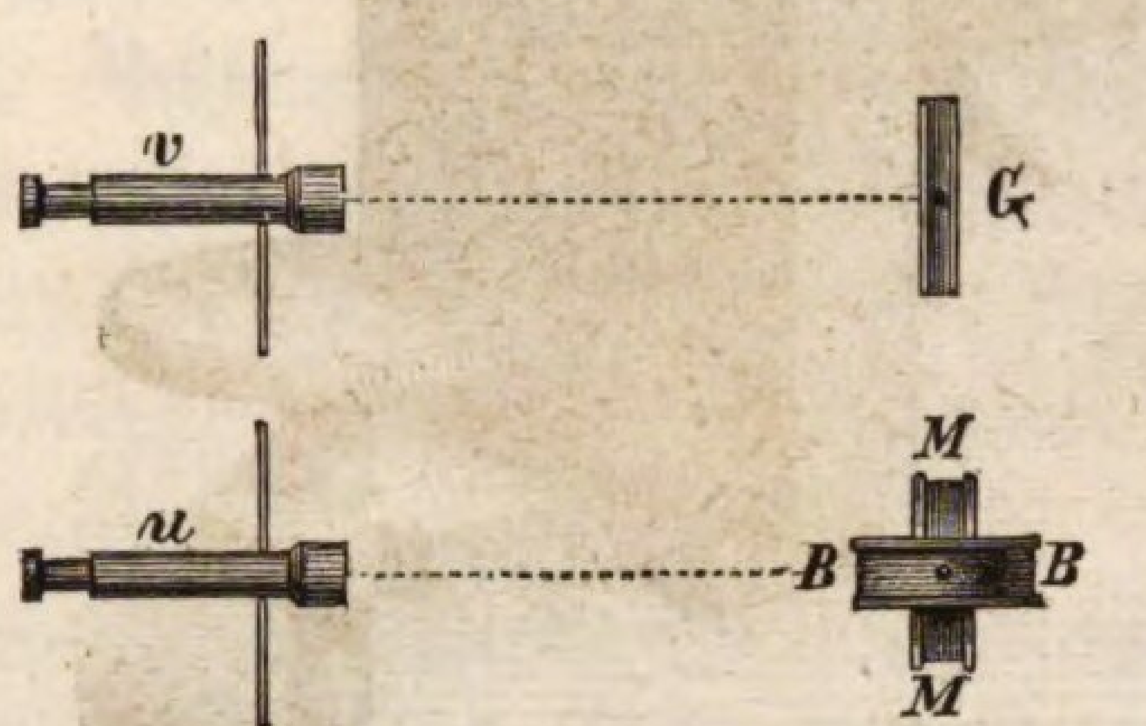
Fig. 65 a.




draht von 1/3 Millimeter Durchmesser ohngefähr 10000 Mal herum gewunden, dergestalt, daß er den Zwischenraum zwischen beiden Scheiben ganz ausfüllt. — Zur festen Aufstellung der Multiplicatorrolle dient ein kleines hölzernes Gestell, das auf drei Füßen mit Stellschrauben ruht. Der eine dieser Füße ist mit einem Charnier versehen und kann so zurückgeschlagen werden, daß man ihn sammt einem Theile des Gestelles und der festen Rolle durch die Bifilarrolle frei hindurchzuführen und dann wieder niederzuschlagen vermag. Die feste Rolle kommt in solchem Falle in den Mittelpunkt der Bifilarrolle zu stehen, wobei das Gestell mit zwei Füßen diesseits, mit dem dritten Fuße jenseits der Bifilarrolle sich befindet. — Die feste Rolle kann aber auch nördlich oder südlich, östlich oder westlich von der Bifilarrolle aufgestellt werden. Gewöhnlich erhält die Ebene der Multiplicatorrolle eine dem magnetischen Meridiane parallele Lage, so daß sie mit der Ebene der Bifilarrolle einen rechten Winkel bildet. — Es ist angemessen auf der Tischplatte die Punkte zu bezeichnen, auf welche man die drei Stellschrauben zu setzen hat, damit der Mittelpunkt der festen Rolle in eine bestimmte Entfernung von dem Mittelpunkte der beweglichen Rolle zu liegen kommt. — Zur Messung der Stromintensitäten wurde ein Magnetometer zu Hülfe genommen, wonach bei Anstellung der Versuche zwei Beobachter nöthig waren: der Eine, um den Ablenkungen des Elektrodynamometers und der Andere um den correspondirenden Ablenkungen des Magnetometers nachzugehen.

Wir schreiten jetzt zu den verschiedenen Versuchen. Die erste von Weber ausgeführte Versuchsreihe hatte zum Zweck, das Gesetz der elektrodynamischen Wechselwirkung zweier Ströme von gleicher Intensität hinsichtlich der Proportionalität des Quadrats der Stromstärke zu prüfen. — Ein und derselbe Strom wurde deßhalb durch die Bifilarrolle und dann durch die Multiplicatorrolle hindurch geleitet, deren Mittelpunkt mit dem Mittelpunkt der Bifilarrolle zusammenfiel, während der Magnetometer nördlich oder südlich von der festen Rolle sich befand. Die Anordnung des Versuches ist aus Figur 66 zu ersehen. **B** ist die Bifilarrolle, **M** die Multiplicatorrolle, **G** das Magnetometer, während bei **U** und **V** Fernröhre mit Scalen zur Beobachtung der Ablenkungen von **B** und **G** aufgestellt sind. — Bei Anwendung von drei Grove'schen Bechern war die Ablenkung zu stark, um noch mit der ein Meter langen Scale gemessen werden zu können. — Um diesen Uebelstand zu beseitigen, nahm Weber mit dem Strome eine Theilung vor, wonach von dem ganzen Strome, welcher durch die Multiplicatorrolle ging, nur ein kleiner Bruchtheil durch die Bifilarrolle geleitet wurde. — Aus der genauen Vergleichung des Widerstandes des Einschaltungsdrahtes mit dem der Bifilarrolle ergab sich, daß die Stromintensität in der Bifilarrolle nach der Theilung zu der Stromintensität in der Multiplicatorrolle in dem constanten Verhältnisse von 1 : 246,26 stand. Diese 246,26 Mal verkleinerte Ablenkung der Bifilarrolle konnte dann an der Scala scharf gemessen werden.

Fig. 66.




Für die Ablenkungen beider Instrumente, wenn der Strom von 1, 2 und 3 Grove'schen Bechern ausging, wurden folgende Mittelwerthe erhalten:

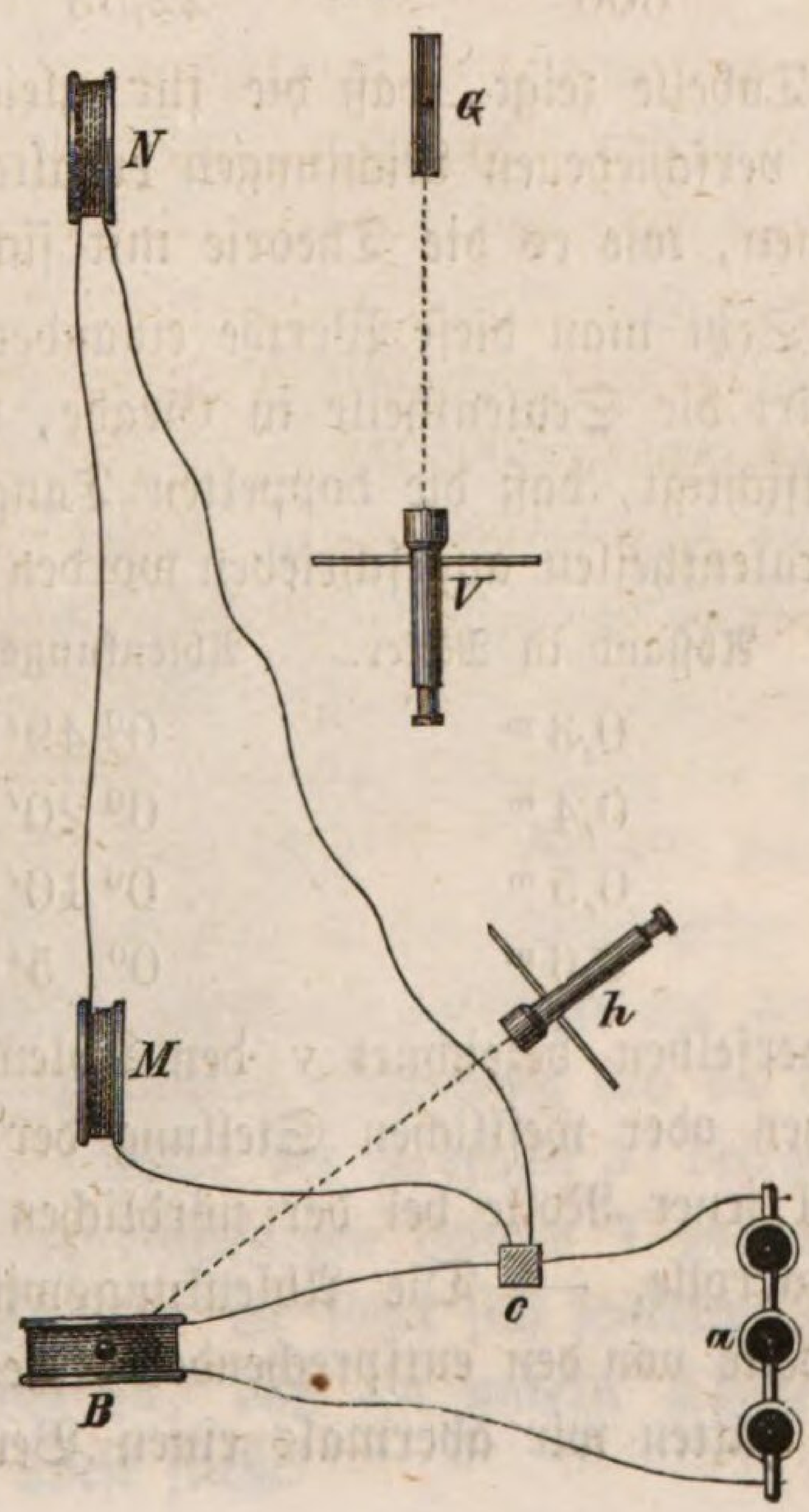
| Zahl der Becher. | Ablenkungen des Magnetometers in Scalentheilen. | Ablenkungen des Elektrodynamometers in Scalentheilen. |
|---|---|---|
| 3 | 108,426 | 440,038 |
| 2 | 72,398 | 198,255 |
| 1 | 36,332 | 50,915. |

Die Zahlen der zweiten Columne sind den Stromintensitäten proportional, während die Zahlen der dritten Columne die entsprechenden elektrodynamischen Kräfte anzeigen. — Multiplicirt man nun die Quadratwurzeln aus den für die elektrodynamische Wechselwirkung gefundenen Werthe,

nämlich $\sqrt{440{,}038}$, $\sqrt{198{,}235}$, $\sqrt{50{,}915}$ mit dem constanten Factor 5,15534; so erhält man der Reihe nach nahezu die für die elektromagnetische Wechselwirkung beobachteten Werthe. Daraus folgt, daß die elektrodynamische Kraft zweier Ströme dem Quadrate der elektromagnetischen Kraft oder dem Quadrate der Stromintensität proportional ist.

Eine andere von Weber angestellte Versuchsreihe hatte die Erforschung der Abhängigkeit der elektrodynamischen Kraft von der gegenseitigen Lage und Entfernung der beiden Rollen zum Ziel. Zu diesem Behufe ward die Multiplicatorrolle wieder bald nördlich oder südlich, bald östlich oder westlich von der Bifilarrolle aufgestellt. In jeder dieser Richtungen wurde die Multiplicatorrolle in verschiedene Entfernungen von der Bifilarrolle gebracht, jedoch stets so, daß die Achsen beider Rollen in einer und derselben Horizontalebene lagen und einen rechten Winkel mit einander bildeten. — Gleichzeitig mit den an der Bifilarrolle gemachten Beobachtungen wurde die Intensität des Stromes mittelst einer dritten unveränderlich feststehenden Drahtrolle durch die Ablenkung gemessen, welche sie an einem Magnetometer bewirkte. Durch solche Hülfsbeobachtungen war es möglich, alle an der Bifilarrolle gemessenen Ablenkungen vermöge des Gesetzes, daß die elektrodynamische Kraft dem Quadrate der Stromintensität proportional ist, auf gleiche Stromintensität zu reduciren und dadurch die Resultate vergleichbar zu machen.

Fig. 67.




Figur 67 gibt eine deutliche Darstellung von der Anordnung und Verbindung der verschiedenen Theile des Apparates unter einander. B ist die Bifilarrolle, u das zugehörige Ablesungsfernrohr nebst Scala; M die verstellbare Multiplicatorrolle; G ein Magnetometer, welches 8 Meter weit von B absteht; V das zugehörige Ablesungsfernrohr mit Scala; N die dritte Rolle aus 618 parallelen Umwindungen, welche von einem Strom durchlaufen auf das Magnetometer wirken. Der Strom geht zur Bifilarrolle, von dieser zum Commutator C, dann über die Multiplicatorrolle

zur Rolle N, von dieser zurück zum Commutator und von letzterem zum negativen Rheophor. — Der Strom behält in der Bifilarrolle stets die nämliche Richtung, während durch den Commutator die Stromrichtung in der Multiplicatorrolle M und der dritten Rolle N geändert werden kann. Die Umkehrung des Stromes in den Rollen M und N war nöthig, um durch wiederholte Messung der positiven und negativen Ablenkungen die Wirkungen jener beiden Rollen mit größerer Schärfe zu bestimmen. Der horizontale Abstand des Spiegels der Bifilarrolle von der Scala betrug bei den Weber'schen Versuchen 3306,3 Scalentheile; der horizontale Abstand des Spiegels des Magnetometers von der Scala belief sich auf 1103 Scalentheile.

Folgende Tabelle gibt in kurzer Uebersicht die so reducirten Mittelwerthe, welche für verschiedene Lagen und Entfernungen erhalten wurden. In der ersten Columne ist der Abstand der Mittelpunkte der beiden Rollen B und M angegeben; die folgenden Columnen enthalten die entsprechenden Ablenkungen der Bifilarrolle unter den in der Ueberschrift angezeigten Lagen und zwar für gleiche Stromstärke.

| Abstand in Millimetern. | Oestlich. | Westlich. | Südlich. | Nördlich. |
|---|---|---|---|---|
| 300 | 189,24 | 190,62 | 77,06 | 77,16 |
| 400 | 77,61 | 77,29 | 34,77 | 34,78 |
| 500 | 39,37 | 39,16 | 18,30 | 18,17 |
| 600 | 22,53 | 22,28 | — | — |

Die Tabelle zeigt, daß die für gleichen Abstand in entgegengesetzten um 180° verschiedenen Richtungen erhaltenen Resultate ziemlich genau übereinstimmen, wie es die Theorie mit sich bringt.

Setzt man diese Werthe einander gleich, nimmt dafür die Mittel und reducirt die Scalentheile in Grade, Minuten und Secunden, indem man berücksichtigt, daß die doppelten Tangenten der einfachen Ablenkungswinkel in Scalentheilen angeschrieben worden sind; so erhält man folgende Tabelle:

| Abstand in Meter. | Ablenkungswinkel v. | Ablenkungswinkel v'. |
|---|---|---|
| 0,3 m | 0° 49′ 22″ | 0° 20′ 3″ |
| 0,4 m | 0° 20′ 8″ | 0° 9′ 2″ |
| 0,5 m | 0° 10′ 12″ | 0° 4′ 44″ |
| 0,6 m | 0° 5′ 50″ | — |

In derselben bezeichnet v den Ablenkungswinkel der Bifilarrolle bei der östlichen oder westlichen Stellung der festen Rolle und v′ den Ablenkungswinkel jener Rolle bei der nördlichen oder südlichen Stellung der Multiplicatorrolle. — Die Ablenkungswinkel v betragen mithin nahezu das Doppelte von den entsprechenden Ablenkungswinkeln v′. In dieser Schlußfolge hätten wir abermals einen Beweis für die Richtigkeit des Grund-

princips der Elektrodynamik, daß nämlich für die elektrodynamischen Wirkungen in die Ferne gleiche Gesetze gelten wie für die magnetischen.

Das System der Anordnung verschiedener Lagen und Entfernungen der beiden Drahtrollen entspricht übrigens genau dem Systeme der Anordnung verschiedener Lagen und Entfernungen der beiden Magnete, welches Gauß bei seinen Messungen angewandt hat, um das Grundprincip des Magnetismus zu erweisen. Die Bifilarrolle vertritt die Stelle der Magnetnadel, die Multiplicatorrolle die Stelle des Ablenkungsstabes. Der dabei vorkommende Unterschied ist der, daß bei den magnetischen Beobachtungen der Fall außer Acht bleibt, in welchem die Mittelpunkte beider Magnete zusammenfallen; dagegen bei den in Rede stehenden elektrodynamischen Messungen noch der Fall hinzutritt, in welchem der Mittelpunkt der einen Rolle mit dem Mittelpunkt der andern Rolle zusammenfällt.

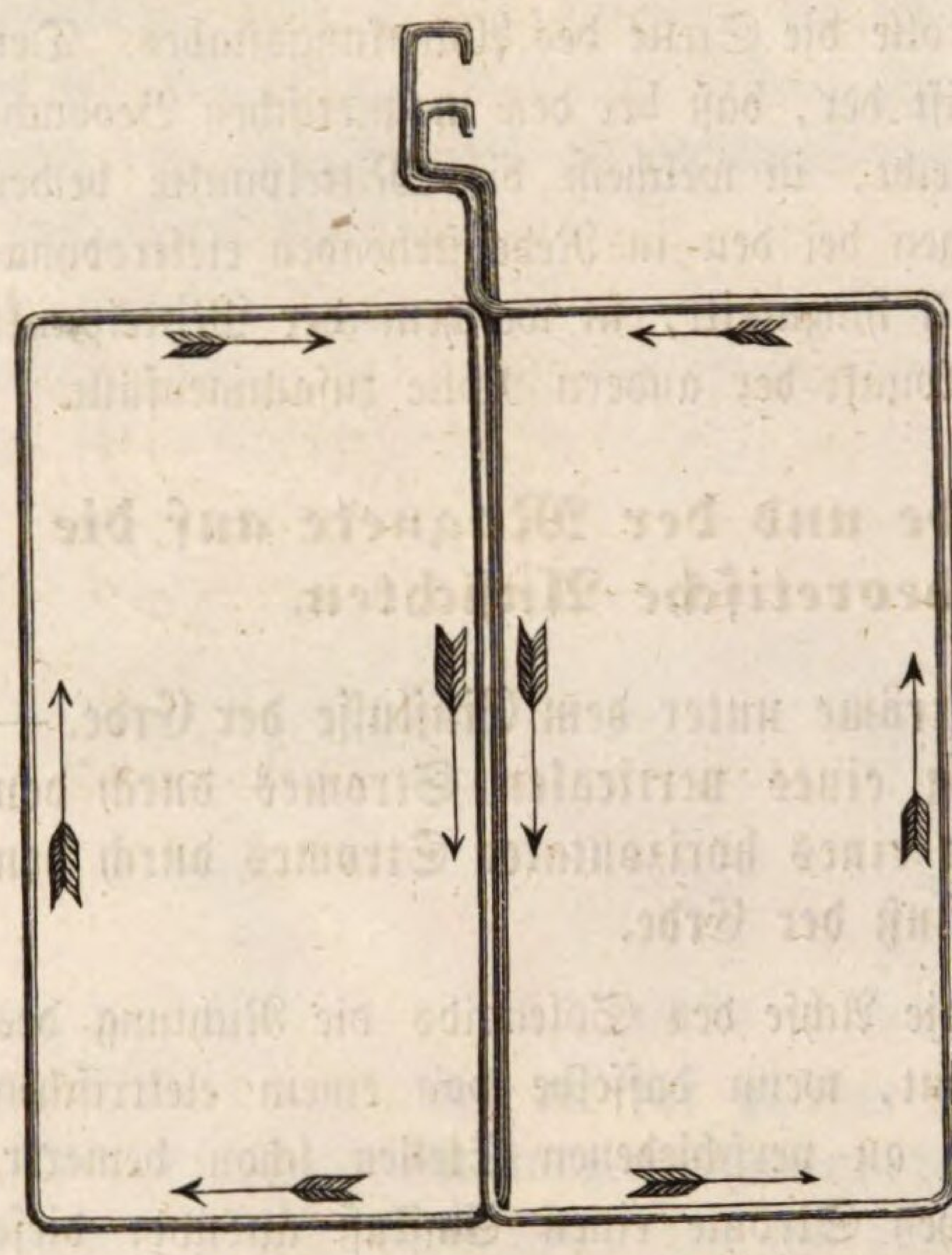
## III. Wirkung der Erde und der Magnete auf die Ströme. — Theoretische Ansichten.

### 1. Richtung der elektrischen Ströme unter dem Einflusse der Erde. — Astatische Leiter. — Richtung eines verticalen Stromes durch den Erdmagnetismus. — Rotation eines horizontalen Stromes durch den Einfluß der Erde.

Wir haben gesehen, daß die Achse des Solenoids die Richtung des magnetischen Meridians annimmt, wenn dasselbe von einem elektrischen Strome durchlaufen wird; auch an verschiedenen Stellen schon bemerkt, daß die Erde auf die Volta'schen Ströme einen Einfluß ausübt: diese Wirkungen wollen wir in Kürze jetzt näher betrachten. — Man hänge den in der Figur 56 zur Sprache gebrachten rechteckigen Leiter V in dem Ampèreschen Gestell auf und lasse den Strom einer kräftigen Säule hindurchgehen. Aus jeder Lage wird der Leiter in eine solche Lage versetzt, daß seine Ebene senkrecht auf der des magnetischen Meridians steht. In dieser Gleichgewichtslage liegt der absteigende Strom östlich, der aufsteigende westlich von der Rotationsachse, und im untern horizontalen Theile des Leiters fließt der Strom von Ost nach West. — Aendert man die Richtung des Stromes, so kommt der Apparat in der umgekehrten Lage zur Ruhe, wobei die Ebene des Rechtecks abermals senkrecht auf der des magnetischen Meridians steht und der Strom in Beziehung auf die Weltgegenden wieder dieselbe Richtung hat. — Wird der in Figur 57 betrachtete kreisförmige Leiter W an die Stelle des rechteckigen Leiters V gesetzt, so wirkt die Erde auf gleiche Weise auf ihn. Er stellt sich senkrecht gegen die Ebene des magnetischen Meridians so, daß im untern Theile der Peripherie der Strom von Ost nach West fließt.

Man erhält einen astatischen, d. h. für die Wirkung der Erde indifferenten beweglichen Leiter, wenn man denselben aus zwei gleichen Stromtheilen zusammensetzt, dergestalt, daß der Strom den einen in gerade entgegengesetzter Richtung wie den andern durchläuft. Auf einen solchen Leiter kann die Erde nicht mehr richtend wirken, weil die Wirkung auf den einen Theil durch die auf den andern aufgehoben wird. — Einen derartigen astatischen Leiter stellt die Figur 68 dar. In demselben haben die oberen und unteren horizontalen Ströme, wie der durch die Pfeile angedeutete Weg zu erkennen gibt, das Bestreben ihn im entgegengesetzten Sinne mit gleicher Intensität zu drehen, sie müssen mithin sich neutralisiren. Die zwei neben der Achse befindlichen verticalen Ströme heben einander auf, weil sie in derselben Richtung fließen. Dasselbe gilt von den beiden andern verticalen Strömen. — Hängt man einen astatischen Leiter in dem Ampère'schen Gestell auf, so bleibt er in allen Lagen im Gleichgewichte, wenn er von einem elektrischen Strome durchflossen wird. — Läßt man horizontal unter dem astatischen Leiter in einer beliebigen Richtung einen elektrischen Strom hergehen, so stellt sich der Leiter senkrecht gegen denselben. Bei Anwendung astatischer Leiter hat man also nicht nöthig, denselben eine bestimmte Stellung von Ost nach West zu ertheilen, um die reine Wirkung eines elektrischen Stromes auf einen andern zu erfahren.

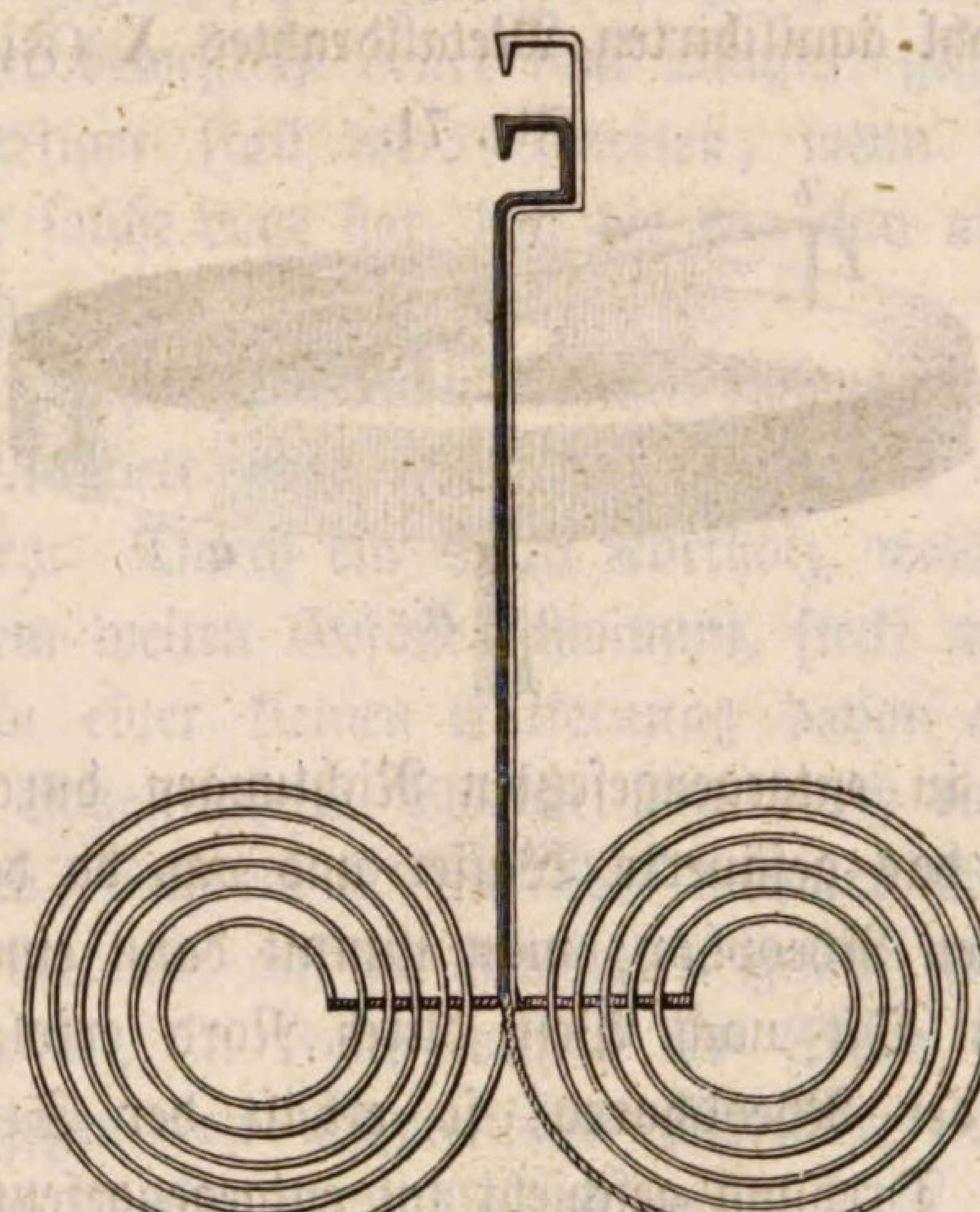
Fig. 68.



Wie wir schon gesehen, orientirt sich die Achse eines Solenoids in der Ebene des magnetischen Meridians. Bei einem Links-Solenoid ist die nach Nord gekehrte Seite diejenige, an welcher der Strom eintritt; bei einem Rechts-Solenoid diejenige, wo er dasselbe verläßt. — Ein solches Solenoid verhält sich auch darin wie ein Magnet, daß es Eisenfeile anzieht, die sogleich abfällt, wenn der Strom unterbrochen wird. — Hängt man eine Spirale, deren Windungen mit der Achse in einerlei Ebene

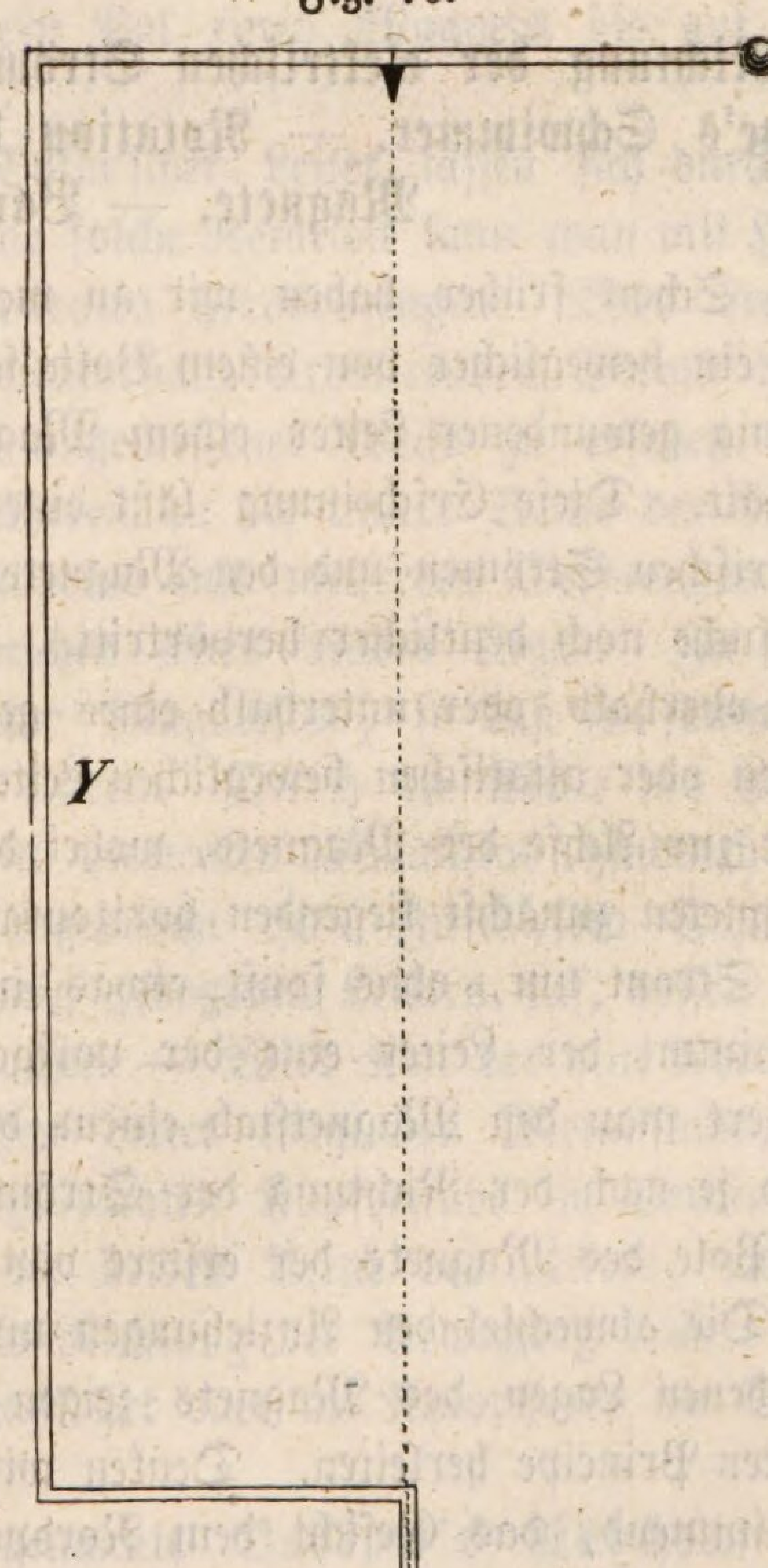
liegen, wie solche in Figur 69 abgebildet ist, in den Ampère'schen Apparat, so stellt sich die Spirale von Ost nach West. — Kehrt man den Strom um, so nimmt die Spirale eine der vorigen entgegengesetzte Lage an; in beiden Fällen ist der Strom im unteren Theile von Ost nach West gerichtet.

Fig. 69.



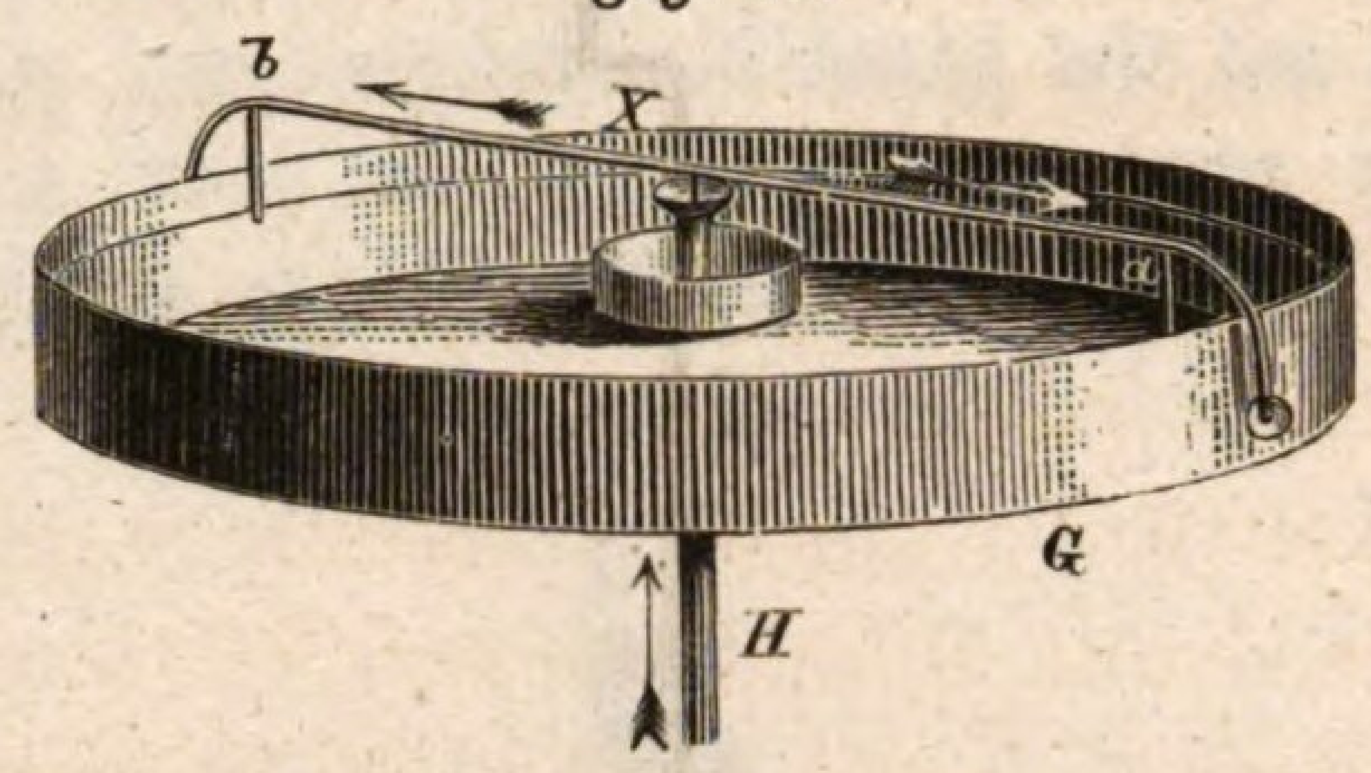
Ein um eine verticale Achse beweglicher Strom richtet sich unter dem Einflusse der Erde nach West, wenn er aufsteigend ist, und nach Ost, wenn er niedersteigend ist. Man hänge das halbe Rechteck Y mit seiner Stahlspitze in dem Schälchen des Ampère'schen Gestells (Fig. 70) auf, während sein anderes Ende in dem auf dem Brette angebrachten Schälchen sitzt, das mit dem oberen Schälchen in der nämlichen Verticale liegt. Das Rechteck ist mit einem Gegengewichte versehen, bestimmt um ihm das Gleichgewicht zu halten. Auf die beiden horizontalen Ströme übt die Erde gleiche und entgegengesetzte Wirkungen aus; es bleibt daher nur ihre Wirkung auf den verticalen Strom übrig. Die Erfahrung lehrt, daß der Leiter sich nach West richtet, wenn der Strom aufsteigt; dagegen sich nach Ost kehrt, wenn der Strom absteigend ist. — Ein horizontaler beweglicher Leiter geräth durch den Erdmagnetismus in eine beständige Drehung. Um

Fig. 70.



dies in der Erfahrung nachzuweisen, bedient man sich eines horizontalen wohl äquilibirten Metalldrahtes X (Fig. 71), der mit seiner Spitze auf den Boden des von der Kupferstange H getragenen Schälchens ruht und mit zwei verticalen Ansatzstücken a und b versehen ist, deren Enden in das gesäuerte Wasser der Kupferschale G hinabreichen. — Tritt der Strom durch das Schälchen ein, so geht er in entgegengesetzten Richtungen durch die beiden Hälften des Drahtes in das gesäuerte Wasser und von da durch die Kupferschale zu dem negativen Rheophor; man nimmt dann eine Rotationsbewegung wahr, welche von Ost nach West durch Nord erfolgt. — Vertauscht man die Stelle beider Rheophoren, so erhält der Strom die entgegengesetzte Richtung; die Drehung geschieht im entgegengesetzten Sinne, nämlich von West nach Ost durch Nord.

Fig. 71.




## 2. Richtung der elektrischen Ströme durch die Magnete. — De la Rive's Schwimmer. — Rotation der elektrischen Ströme durch die Magnete. — Barlow's Rädchen.

Schon früher haben wir an mehreren Stellen gelegentlich bemerkt, daß ein beweglicher von einem Volta'schen Strome durchlaufener schraubenförmig gewundener Leiter einem Magnet gegenüber sich wie ein Magnet verhält. Diese Erscheinung läßt eine gegenseitige Wirkung zwischen den elektrischen Strömen und den Magneten erkennen, welche durch nachstehende Versuche noch deutlicher hervortritt. — Man halte einen starken Magnetstab oberhalb oder unterhalb eines geschlossenen rechteckigen oder kreisförmigen oder astatischen beweglichen Leiters; der Leiter stellt sich sofort senkrecht zur Achse des Magnets, wobei der Nordpol sich links von dem dem Magneten zunächst liegenden horizontalen Strome befindet. — Kehrt man den Strom um, ohne sonst etwas in der Zusammenstellung zu ändern; so nimmt der Leiter eine der vorigen entgegengesetzte Richtung an. — Nähert man den Magnetstab einem der verticalen Theile des Leiters, so wird je nach der Richtung der Ströme des Leiters und der Beschaffenheit der Pole des Magnets der erstere von letzterem angezogen oder abgestoßen. — Die abwechselnden Anziehungen und Abstoßungen, welche sich bei verschiedenen Lagen des Magnets zeigen, lassen sich aus dem früher aufgestellten Principe herleiten. Denken wir uns selbst nämlich in dem Strom schwimmend, das Gesicht dem Nordpol zugewendet, so wird der Leiter von dem Magnet angezogen, wenn dessen Nordpol der linken Seite am

nächsten liegt; dagegen findet im entgegengesetzten Falle Abstoßung statt. — Es kann sich auch ereignen, daß der bewegliche Leiter dem Magnet gegenüber in Ruhe verharrt: ein derartiger Fall wird eintreten, wenn der Leiter dem Magnete gegenüber eine solche Lage hat, daß die von ihm ausgehenden Wirkungen sich gegenseitig aufheben.

De la Rive hat einen einfachen Apparat erdacht, welcher recht geeignet ist, den richtenden Einfluß der Magnete oder selbst den der Erde auf schwache elektrische Ströme zu zeigen. Durch ein Stück Korkholz, welches auf dem gesäuerten Wasser in einem weiten Gefäße schwimmt, steckt man eine kleine Platte von Zink und in einer kleinen Entfernung davon eine andere von Kupfer. Die oberen Enden dieser Platten sind durch einen Kupferdraht mit einander verbunden, nachdem er eine oder mehrere Windungen gemacht hat. Sobald der Apparat auf die Flüssigkeit gesetzt wird, entwickelt sich ein elektrischer Strom, in Folge dessen die Ebene des Schließungsbogens sich senkrecht gegen den magnetischen Meridian stellt, so daß das Zink nach Osten, das Kupfer nach Westen gerichtet ist. — Noch entschiedener tritt die Anziehung und Abstoßung auf, wenn man dem Apparate den einen oder den andern Pol eines Magnets bis auf eine gewisse Entfernung nähert.

Auch anhaltende Drehungen Volta'scher Leiter lassen sich durch die Wirkung der Magnete erzeugen. Eine solche Rotation kann man mit Hülfe des in Figur 60 dargestellten Apparates hervorbringen. Man braucht deßhalb nur den durch das Multiplicatorband circulirenden Strom durch einen oder mehrere Magnetpole in angemessener Weise zu ersetzen. Zu diesem Behufe wird anstatt des früheren an die innere Wand der Rinne fest anschließenden Holzstückes ein anderes mit mehreren Oeffnungen versehenes eingefügt, die wie die Speichen eines Rades liegen. In jeder dieser Oeffnungen steckt ein verticaler Magnetstab, so daß sie sämmtlich ihre gleichnamigen Pole nach oben kehren. Durch die Mitte des letzterwähnten Holzstückes geht wieder ein verticaler Metallstab hindurch, an welchem oben ein Kupferschälchen angebracht ist. In diesem Schälchen sitzt die feine Spitze des hufeisenförmig gebogenen Leiters auf, dessen beide Enden in die Quecksilberrinne eintauchen. — Wird nun der eine Rheophor der Säule mit dem den beweglichen Leiter tragenden Metallstabe, der andere mit dem an der Rinne angebrachten Kupferstabe in Verbindung gesetzt; so durchläuft der Strom die beiden Arme des Leiters, welcher alsbald zu rotiren beginnt. — Die Richtung der Bewegung ändert sich, wenn man die Pole des Magnets umkehrt oder die Rheophoren der Säule vertauscht.

Hierher gehört auch das sogenannte Barlow's Rädchen. An einem gabelförmigen ausgeschnittenen Polardrahte ist ein sternförmiges

Rädchen angebracht, dessen Spitzen die Oberfläche des in einer Rinne befindlichen Quecksilbers berühren. Auf beiden Seiten des Rädchens liegen die Pole eines Hufeisenmagnets. — Leitet man nun vom Quecksilber einen elektrischen Strom, welcher vom Umfange zum Mittelpunkt des Rädchens und von da an dem gabelförmigen Leiter zu dem negativen Rheophor geht, während sich die Ebene des Rädchens im magnetischen Meridian befindet, der Nordpol des Magnets östlich und der Südpol westlich davon liegt; so dreht sich das Rädchen von Ost nach West durch Süd. — Kehrt man den Strom oder den Magnet um, so ändert sich die Richtung der drehenden Bewegung.

## 3. Ampère's Theorie des Magnetismus.

Die bisher besprochenen Erscheinungen des eigentlichen Magnetismus, des Elektromagnetismus und der Elektrodynamik, wie noch mehrere andere, welche wir in der Folge kennen lernen werden, legen uns den Gedanken nahe, daß die Erscheinungen des Magnetismus und der Elektricität wohl einen und denselben Ursprung haben. — Die Anziehung der Erde durch die Magnete bilden wir nach mittelst der elektrischen Spiralen, die Anziehung und Abstoßung der Magnete unter einander in der Anziehung und Abstoßung der Solenoide. Auf gleiche Weise wird die Richtung, welche die astatische Magnetnadel annimmt, durch elektrische Leiter nachgeahmt, welche vom Strome in entgegengesetzter Richtung durchlaufen werden. Nichtmagnetisches Eisen und Stahl werden durch galvanische Ströme in ähnlicher Weise magnetisch wie durch Magnete. — Die von dem Physiker Ampère aufgestellte Theorie des Magnetismus, welche die elektrischen und magnetischen Erscheinungen auf eine einfache und natürliche Art mit einander in Verbindung bringt und aus einer Grundursache herleitet, dürfte daher wohl als eine unmittelbare Folgerung aus den bis jetzt bekannten Thatsachen angesehen werden können. Jene Theorie möchte um so eher als die wirkliche Erklärung der Erscheinungen, welche sie umfaßt, zu betrachten sein, insofern sie als sichere Grundlage bei Aufsuchung neuer Erscheinungen gedient hat, zu deren Wahrnehmung wir auf anderem Wege wohl schwerlich gelangt wären. — Zwar vermag die Ampère'sche Theorie nicht von sämmtlichen Erscheinungen des Gebietes, auf das sie zur Anwendung kommt, eine befriedigende Erklärung zu geben. Dies kann uns aber nicht veranlassen, die Theorie gänzlich zu verwerfen; es darf nur dann erst geschehen, wenn sie selbst mit andern Theilen der Wissenschaft in offenbarem Widerspruche steht. Gilt doch Aehnliches mehr oder weniger von allen Hypothesen, von denen bei der Beschränktheit unserer Einsichten und Erfahrungen wir nicht erwarten können, daß sie durchgehends mit der Wirklichkeit stimmen.

Nach dieser Theorie rührt der Magnetismus nicht von der Trennung zweier magnetischen Flüssigkeiten, sondern von elektrischen Strömen her, welche um jedes Molecül des Magnets in geschlossenen Curven sich bewegen, denen man die Kreisform beilegen kann. In einem Magnetstabe bildet hiernach jede zur Achse des Stabes parallele Reihe von Molecülen ein kleines Solenoid, so daß der Magnetstab selbst als ein zusammengesetzter Bündel von dergleichen parallelen Solenoiden zu betrachten ist. — Die in jedem auf der Achse senkrechten Durchschnitte fließenden Molecularströme wirken zusammen wie ein einziger Strom, welcher gleichsam die Resultante aller elementaren Ströme dieses Querschnittes ist. Hiernach wäre denn der Magnetstab selbst wieder als ein wahres Solenoid, oder als ein System kreisförmiger, paralleler und gleichgerichteter Ströme anzusehen, deren Mittelpunkte auf der Achse des Magnetstabes liegen. — Diese elektrischen Ströme sollen in allen des Magnetismus fähigen Körpern in deren natürlichem Zustande schon vorhanden sein, aber alle mögliche Richtungen darin haben, so daß sie keine Wirkung nach Außen hervorbringen können, indem die einen anzuziehen streben, was die andern abstoßen. Der Magnetismus wird erst dann erregt, wenn durch Einwirkung eines Magnets oder eines Volta'schen Leiters alle diese Ströme eine parallele Richtung erhalten, vermöge deren sie auf einen außerhalb liegenden Punkt übereinstimmende Wirkungen auszuüben vermögen. — Eine andere Art das Magnetischwerden der Körper sich zu erklären, besteht darin, daß man annimmt, die elektrischen Ströme wären in den Körpern nicht schon vorhanden, sondern würden erst durch den Einfluß eines Volta'schen Stroms oder Magnets darin hervorgerufen. Es läßt sich nicht entscheiden, welche von diesen beiden Erklärungsarten die bessere sei. Möglich auch, daß die Erregung des Magnetismus nicht allein von der einen oder der andern der angeführten Ursachen, sondern von beiden zugleich abhänge. Doch wie gesagt sind wir zur Zeit außer Stande, auf diese Frage eine befriedigende Antwort zu ertheilen.

Weiches Eisen setzt der Verrückung der Ströme nur einen schwachen Widerstand entgegen oder besitzt eine geringe Coërcitivkraft, wenn man den nach der Theorie der beiden magnetischen Flüssigkeiten eingeführten Namen beibehalten will. Nach Entfernung der von Außen wirkenden Kraft kehren daher die elektrischen Ströme in dem Eisen alsbald wieder in ihre ursprüngliche regellose gegenseitige Lage zurück, was das Verschwinden des Magnetismus zur Folge hat. — Der Stahl stellt aber seinerseits der Richtungsveränderung der Ströme einen merklichen Widerstand entgegen, oder hat eine stärkere Coërcitivkraft als Eisen. Sind darum durch eine wirkende Ursache die Ströme im Stahle in eine parallele Richtung gebracht worden, so werden, wenn die äußere Ursache zu wirken aufhört,

die elektrischen Ströme theilweise ihren Parallelismus darin beibehalten oder der Stahl wird theilweise im magnetischen Zustande verbleiben.

Durchschneidet man ein Solenoid an einer Stelle rechtwinklig zu seiner Achse und sieht daselbst gegen die Grenzkreise der beiden Theile, so hat man an dem einen Theile den aufsteigenden Strom zur Rechten und an dem andern den aufsteigenden Strom zur Linken liegen. An den Endkreisen der beiden Theile sind die Ströme parallel und gleich gerichtet, sie werden sich demnach gegenseitig einander anziehen. Ein dergestalt durchschnittenes Solenoid verhält sich mithin gerade so wie wenn man einen Magnetstab durchbricht. — Zwei gleichartig gewundene Solenoide, welche auf einander wirken, bieten ein System von vier Kräften dar, nämlich zwei anziehende und zwei abstoßende Kräfte, gerade wie es bei den Magneten der Fall ist. — Die entgegengesetzten Enden dergleichen Solenoide ziehen sich gegenseitig an, weil die Ströme darin parallel sind und dieselbe Richtung haben. Dagegen stoßen die andern Enden jener Solenoide einander ab, weil die Ströme darin in entgegengesetzter Richtung gehen. Man kann daher die Enden des Solenoids Pole nennen. — Um die Erklärung der Anziehung und Abstoßung der Pole in verschiedenen Stellungen der Solenoide oder Magnete gegen einander recht anschaulich zu machen, ist es nützlich, zwei Cylinder von Holz zur Hand zu nehmen und auf denselben die Richtung der Ströme in einem Solenoide durch Pfeile darzustellen und jedes Ende der beiden Cylinder auf dieselbe Weise zu bezeichnen, das eine etwa mit S, das andere mit N.

Wiewohl für Magnete und Solenoide dieselben Gesetze gelten, so findet doch zwischen beiden ein wesentlicher Unterschied statt. Bei einem Magnet zeigt sich nämlich an seinen Enden die Wirkung am stärksten, während bei dem elektrodynamischen Cylinder solches in der Mitte der Fall ist, wie folgender von Poggendorf angestellter Versuch beweist. — Man füttere einen hohlen Magnetstab mit einer Glasröhre aus und halte ihn vertical, z. B. mit dem Nordpol nach oben. Man schiebe dann eine leichte Nähnadel von oben hinein; sie wird nicht hindurch fallen, sondern aus dem Magnet noch etwas hervorragen. Drückt man sie auch ein wenig hinab, so steigt sie nach Aufhebung des Druckes wieder empor. — Bei dem elektrodynamischen Cylinder aber begibt sich die Nadel sogleich in die Mitte und bleibt dort schweben. — Dieser Unterschied mag vielleicht daher herrühren, daß im Magnet die Intensität der Ströme an verschiedenen Stellen verschieden ist oder die Ströme nicht alle in Ebenen liegen, welche senkrecht auf der Achse des Magnets stehen; Umstände, welche bei einem elektrodynamischen Cylinder nicht vorkommen. Die Ansicht findet gewissermaßen eine Stütze in der Thatsache, daß die Pole eines Magnets

der Mitte desselben um so mehr sich nähern, je dicker der Magnet im Verhältniß zu seiner Länge ist; während die Pole des Solenoids jederzeit genau an ihren Enden liegen.

Nach der Ampère'schen Theorie hat man sich auf der Oberfläche oder im Innern des Erdkörpers elektrische Ströme vorhanden zu denken, welche auf die Volta'schen Leiter nach den oben dargelegten Gesetzen wirken. Die Richtung dieser Ströme geht von Ost nach West und steht an jedem Orte senkrecht auf der Ebene des magnetischen Meridianes. — Die elektrischen Erdströme wären es, welche die Declination und Inclination der Magnetnadel bestimmten. Die Veränderungen in der Abweichung, Neigung und Intensität werden einer Aenderung in dem elektrischen Erdstrome zugeschrieben. — Und in der That muß man zugestehen, daß es nicht mehr Schwierigkeit darbietet, diese Erscheinungen von einer derartigen Aenderung als von einer Veränderung in der Vertheilung des Magnetismus sich abhängig zu denken. — Das Nordlicht besteht in einer elektrischen Entladung, deren Einfluß auf die Magnetnadel eine rein elektrodynamische Erscheinung ist.

## 4. Webers elektrisches Grundgesetz.

Weber hat ein allgemeines Grundgesetz der elektrischen Wirkung aufgestellt, aus welchem das von Coulomb gefundene elektrostatische Gesetz wie das von Ampère mitgetheilte elektrodynamische Gesetz als besondere Fälle sich ableiten lassen. Wir schreiten nunmehr zur Entwickelung jenes allgemeinen Grundgesetzes, zu welchem Behufe wir uns zwei Stromleiter A und A′ denken, deren Wechselwirkung bestimmt werden soll. Alsdann haben wir in jenen zwei Stromleitern vier Wechselwirkungen angehäufter Elektricitätsmengen zu betrachten, nämlich zwei abstoßende zwischen den beiden positiven und den beiden negativen Mengen in den Stromleitern, und zwei anziehende zwischen der positiven Menge in A und der negativen Menge in A′, ferner zwischen der negativen Menge in A und der positiven Menge in A′. — Befinden sich nun gleichzeitig in der Längeneinheit des Stromleiters A zwei elektrische Massen $\pm e$ und in der Längeneinheit des Stromleiters A′ zwei elektrische Massen $\pm e'$, so ergeben sich für die elektrostatischen Wirkungen der vier elektrischen Massen in den Stromtheilen $ds$ und $ds'$ folgende Ausdrücke:

von $+ds\,e$ auf $+ds'\,e'$ die Abstoßung: $+\dfrac{ds\,ds'\,e\,e'}{r^2}$;

von $-ds\,e$ auf $-ds'\,e'$ die Abstoßung: $+\dfrac{ds\,ds'\,e\,e'}{r^2}$;

von $+ds\,e$ auf $-ds'\,e'$ die Anziehung: $-\dfrac{ds\,ds'\,e\,e'}{r^2}$;

von $-ds\,e$ auf $+ds'\,e'$ die Anziehung: $-\dfrac{ds\,ds'\,e\,e'}{r^2}$;

Die Resultante dieser vier Wirkungen ist Null. — Thatsache ist es aber, daß zwei Stromelemente, welche in einer geraden Linie liegen, mit welcher ihre Richtung zusammenfällt, einander abstoßen oder anziehen, je nachdem sie von dem Strome in gleichem oder in entgegengesetztem Sinne durchlaufen werden. Hieraus folgt, daß die gegenseitige Wirkung der Stromtheile nicht blos von dem elektrostatischen Gesetze der gegen einander sich bewegenden Elektricitätsmengen abhängt, sondern auch durch ihren Bewegungszustand bedingt wird, wie etwa ihre relative Geschwindigkeit und ihre relative Beschleunigung.

Die relative Geschwindigkeit zweier elektrischen Massen kann, wenn r den Abstand derselben bezeichnet, durch $\frac{dr}{dt}$ dargestellt werden, in welchem die Wegstrecke dr und das Zeittheilchen dt unendlich kleine Größen sind. — Ist jetzt u die Verschiebungsgeschwindigkeit der Elektricität in A, u' jene in A', wird ferner angenommen, daß die dynamische Wirkung dem Produkte der elektrischen Massen und dem negativen Quadrate der relativen Geschwindigkeit proportional sei, so bekommen wir für die vier Wechselwirkungen zwischen den zwei Stromtheilen ds und ds', wenn sie in einer geraden Linie liegen und von dem Strome in gleichem Sinne durchlaufen werden, nachstehende Ausdrücke, in denen $a^2$ eine constante Größe deutet:

von $+e\,ds$ auf $+e'\,ds'$, weil $\frac{dr}{dt} = u - u'$, die Kraft:

$$+\frac{e e' ds\, ds'}{r^2}(1 - a^2 (u - u')^2);$$

von $-e\,ds$ auf $-e'\,ds'$, weil $\frac{dr}{dt} = -u + u'$, die Kraft:

$$+\frac{e e' ds\, ds'}{r^2}(1 - a^2 (u - u')^2);$$

von $+e\,ds$ auf $-e'\,ds'$, weil $\frac{dr}{dt} = u + u'$, die Kraft:

$$-\frac{e e' ds\, ds'}{r^2}(1 - a^2 (u + u')^2);$$

von $-e\,ds$ auf $+e'ds'$, weil $\frac{dr}{dt} = -u - u'$, die Kraft:

$$-\frac{e e' ds\, ds'}{r^2}(1 - a^2 (u + u')^2).$$

Die Summe der Abstoßungen ist hiernach:

$$= +\frac{2 e e' ds\, ds'}{r^2}(1 - a^2 (u - u')^2),$$

und die der Anziehungen:

$$= -\frac{2 e e' ds\, ds'}{r^2}(1 - a^2 (u + u')^2).$$

Daraus entspringt für die Resultante f aller vier Wechselwirkungen der

Ausdruck: $f = + \frac{8\,a^2\,e\,e'\,u\,u'}{r^2}\,ds\,ds'$. Es findet mithin in diesem Falle übereinstimmend mit der Erfahrung eine Abstoßung zwischen den Stromelementen statt. — Werden die Stromtheile vom Strome in entgegengesetztem Sinne durchlaufen, so entstehen für die vier Wechselwirkungen folgende Ausdrücke:

von $+ e\,ds$ auf $+ e'\,ds'$ die Kraft: $+ \frac{e\,e'}{r^2}\,ds\,ds'\,(1 - a^2\,(u + u')^2)$;

von $- e\,ds$ auf $- e'\,ds'$ die Kraft: $+ \frac{e\,e'}{r^2}\,ds\,ds'\,(1 - a^2\,(u + u')^2)$;

von $+ e\,ds$ auf $- e'\,ds'$ die Kraft: $- \frac{e\,e'\,ds\,ds'}{r^2}\,(1 - a^2\,(u - u')^2)$;

von $- e\,ds$ auf $+ e'\,ds'$ die Kraft: $- \frac{e\,e'\,ds\,ds'}{r^2}\,(1 - a^2\,(u - u')^2)$.

Für die Resultante f aller vier Wirkungen hat man also:

$$f = - \frac{8\,a^2\,e\,e'\,u\,u'}{r^2}\,ds\,ds'.$$

Es zeigt sich also in dem betreffenden Falle eine Anziehung zwischen den Stromelementen, was abermals mit der Erfahrung im Einklang steht. — Da aus dem allgemeinen elektrischen Grundgesetze das elektrostatische Gesetz sich ergeben muß, wenn die relative Geschwindigkeit $\frac{dr}{dt}$ Null ist; so fand sich Weber veranlaßt, für die Einwirkung zweier elektrischen Massen den Ausdruck: $\frac{e\,e'}{r^2}\,ds\,ds'\left[1 - a^2\left(\frac{dr}{dt}\right)^2\right]$ aufzustellen.

Die eben ermittelte Ergänzung des elektrostatischen Gesetzes ist aber nicht ausreichend. Denn eine weitere Thatsache ist es, daß zwei parallele Stromelemente, welche mit ihrer Verbindungslinie rechte Winkel einschließen, einander anziehen oder abstoßen, je nachdem sie von dem Strome in gleichem oder entgegengesetztem Sinne durchflossen werden. In diesen beiden Specialfällen ändert sich der Abstand der beiden positiven elektrischen Massen, weil sie sich bewegen. Bezeichnen nun u und u′ wieder die Verschiebungsgeschwindigkeiten der Elektricitäten e und e′, ferner $\varrho$ den veränderlichen Abstand dieser elektrischen Massen und r den constanten Abstand der Stromelemente; so besteht zur Bestimmung des Werthes von $\varrho$ nach Verlauf des Zeitraumes t von dem Augenblicke an gerechnet, in welchem $\varrho = r$ war, die Gleichung: $\varrho^2 = r^2 + (u - u')^2\,t^2$; diese liefert für die relative Geschwindigkeit den Ausdruck: $\frac{d\varrho}{dt} = \frac{(u - u')^2\,t}{r}$. — In dem betrachteten Augenblicke, für welchen $t = 0$, wäre dann die relative Geschwindigkeit $\frac{d\varrho}{dt}$ Null, wonach die beiden Stromelemente gar keine Wirkung auf einander ausüben würden, was nicht der Fall ist. Es ist daher

geboten, die Größe der Wechselwirkung bewegter elektrischen Massen, wie sie durch das elektrostatische Gesetz bestimmt ist, nicht blos von dem Quadrate der relativen Geschwindigkeit, sondern auch von ihrer relativen Beschleunigung $\frac{d \cdot \left(\frac{dr}{dt}\right)}{dt}$ abhängig zu machen. — Wird nun nach den bekannten Gesetzen der Kreisbewegung angenommen, daß die Beschleunigung dem Quadrate der Geschwindigkeit direct und dem Halbmesser $\frac{r}{2}$ des Kreises umgekehrt proportional sei; so erhalten wir für die relative Beschleunigung der beiden positiv elektrischen Massen im betrachteten Augenblicke $t = 0$, den Werth $= \frac{b\,(u - u')^2}{r}$, in welchem b eine von der Geschwindigkeit und Beschleunigung unabhängige Größe bedeutet. — Hiernach ergeben sich für die vier Wechselwirkungen zwischen den elektrischen Massen in den beiden Stromelementen folgende Werthe:

zwischen $+ e\,ds$ und $+ e'\,ds'$ die Kraft: $+ \frac{e e' ds\, ds'}{r^2}\left(1 + \frac{b}{r}(u - u')^2\right)$;

zwischen $- e\,ds$ und $- e'\,ds'$ die Kraft: $+ \frac{e e' ds\, ds'}{r^2}\left(1 + \frac{b}{r}(u - u')^2\right)$;

zwischen $+ e\,ds$ und $- e'\,ds'$ die Kraft: $- \frac{e e' ds\, ds'}{r^2}\left(1 + \frac{b}{r}(u + u')^2\right)$;

zwischen $- e\,ds$ und $+ e'\,ds'$ die Kraft: $- \frac{e e' ds\, ds'}{r^2}\left(1 + \frac{b}{r}(u + u')^2\right)$.

Die Summe der Abstoßungen gleichartiger Massen ist mithin

$$= + \frac{2\, e e' ds\, ds'}{r^2}\left(1 + \frac{b}{r}(u - u')^2\right);$$

und die Summe der Anziehungen ungleichartiger Massen

$$= - \frac{2\, e e' ds\, ds'}{r^2}\left(1 + \frac{b}{r}(u + u')^2\right).$$

Daraus entspringt für die Resultante f aller vier Kräfte der Werth: $f = - \frac{8\, e e' ds\, ds'}{r^2} \cdot \frac{b}{r} \cdot u\,u'$; d. h. falls b positiv ist, eine Anziehung der Stromelemente. Der obige negative Ausdruck $f = - \frac{8\, e e'}{r^2} ds\, ds' \cdot \frac{b}{r} \cdot u\,u'$ wird positiv, was auf eine Abstoßung der Stromelemente hinweist, wenn sie von dem Strome in entgegengesetztem Sinne durchflossen werden. Diese Folgerungen stimmen genau mit der oben angeführten Thatsache überein, wonach sich für die Wechselwirkung zweier Stromelemente folgender allgemeine Ausdruck ergibt: $\frac{e e'}{r^2} ds\, ds' \left\{1 - a^2\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + b\,\frac{d \cdot \left(\frac{dr}{dt}\right)}{dt}\right\}$.

Die allgemeine Ampère'sche Formel

$$f = \frac{i i' d s d s'}{r^2} (\cos\beta - {}^3/_2 \cos\alpha \cos\alpha')$$

liefert für die beiden Fälle, in denen die zwei Stromelemente in einer geraden Linie liegen, für den Werth der Einwirkung den Ausdruck:

$$f = \mp \tfrac{1}{2} \frac{i i' d s . d s'}{r^2}.$$

Dagegen gibt jene Formel für die beiden Fälle, in welchen die beiden Stromelemente parallel zu einander sind, den Ausdruck: $f = \pm \frac{i i' d s d s'}{r^2}$. In den zwei letzteren Fällen ist daher der Werth der Kraft f doppelt so groß wie in den beiden ersteren Fällen. — Ein derartiges Resultat ergibt sich ebenfalls aus den beiden Ausdrücken:

$$f = \mp \frac{8 a^2 e c' u u'}{r^2} d s d s' \text{ und } f = \pm \frac{8 e e' d s d s' u u'}{r^2} . \frac{b}{r},$$

wenn wir setzen $b = 2 r a^2$. — Mittelst dieses Werthes von b verwandelt sich der allgemeine Ausdruck für die Wirkung zweier in der Längeneinheit enthaltenen elektrischen Massen e, e' in folgenden:

$$\frac{e e'}{r^2} \left\{ 1 - a^2 \left(\frac{d r}{d t}\right)^2 + 2 a^2 r \frac{d . \left(\frac{d r}{d t}\right)}{d t} \right\}.$$

Wird $c = \frac{1}{a}$ gesetzt und dieser Werth in den letzteren Ausdruck substituirt, so bekommen wir für das allgemeine Grundgesetz den Ausdruck:

$$\frac{e e'}{r^2} \left\{ 1 - \frac{1}{c^2} \left( \left(\frac{d r}{d t}\right)^2 - 2 r \frac{d . \left(\frac{d r}{d t}\right)}{d t} \right) \right\},$$

in welchem die Constante c eine einfache Bedeutung hat. Denkt man sich nämlich zwei elektrische Massen, deren relative Beschleunigung gleich Null ist und deren relative Geschwindigkeit constant und gleich c ist; so üben die zwei elektrischen Massen keine Einwirkung auf einander. Die Größe ist daher die constante relative Geschwindigkeit, mit welcher sich die beiden elektrischen Massen bewegen müssen, wenn sie keine Einwirkung auf einander haben sollen.

Weber im Verein mit Kohlrausch hat in neuester Zeit den absoluten Werth der Constante c bestimmt. Die Methode, welche die genannten Gelehrten zu diesem Behufe angewendet haben, wollen wir jetzt mittheilen, wobei sich zugleich eine schickliche Gelegenheit darbieten wird, die verschiedenen in Vorschlag gebrachten Maße zur Bestimmung der Stromstärken in vergleichende Zusammenstellung zu bringen. — Wie beim Magnetismus gilt bei der Elektricität als Krafteinheit diejenige Kraft, durch welche die

Masseneinheit oder die Masse von einem Milligramm während der Zeiteinheit oder Secunde um die Längeneinheit oder ein Millimeter beschleunigt wird. Danach ergibt sich am einfachsten als Einheit der Stromstärke die Intensität desjenigen Stromes, welcher entsteht, wenn in der Secunde die Einheit der freien positiven Elektricität in der einen Richtung und eine gleiche Menge negativer Elektricität in der entgegengesetzten Richtung durch den Querschnitt geht. Es möge dieses Maß das mechanische Maß der Stromstärke heißen. — Nach diesem Maße vermögen wir aber die Messung der Intensität eines Stromes nicht auszuführen, weil wir weder die Menge der vorhandenen Elektricität, noch die Geschwindigkeit kennen, mit welcher sich die beiden Elektricitäten bei dem Strome bewegen. Wir können die Intensität der Ströme nur durch die Wirkungen schätzen, welche sie hervorbringen. Eine dieser Wirkungen ist die Wasserzersetzung. Hiernach könnte als Einheit diejenige Stromintensität gelten, bei welcher in einer Secunde ein Milligramm Wasser zersetzt wird. Dieses Maß soll das elektrolytische Maß heißen. — Eine andere Wirkung des Stromes ist die Drehung, welche er auf eine Magnetnadel ausübt. Weber nimmt zur Einheit die Intensität desjenigen Stromes, welcher die Flächeneinheit umkreisend in der Ferne die nämliche Wirkung hervorbringt wie der mit der Einheit des freien Magnetismus begabte Magnet, dessen magnetische Achse auf der Ebene senkrecht steht. Oder mit anderen Worten, die Einheit der Stromstärke ist die Intensität desjenigen Stromes, welcher eine Tangentenbussole mit einem Ringe vom Halbmesser r bei einer Ablenkung $\varphi = \operatorname{arc}\left(\operatorname{tang} = \frac{2\pi}{rH}\right)$ vom magnetischen Meridiane im Gleichgewichte hält, wenn H die horizontale Componente des Erdmagnetismus bezeichnet. Wir wollen dieses Maß der Stromintensität das magnetische Maß nennen. — Das Drehungsmoment M eines Magnets auf einen andern entfernt liegenden Magnet wird, wenn ihre magnetischen Momente nach absolutem Maße = m und m′ sind und ihre Achsen senkrecht zu einander stehen, durch die Gleichung: $M = \frac{m\,m'}{r^3}$ ausgedrückt, in welcher r den Abstand der Mitten der zwei Magnete bezeichnet. Setzt man nun an die Stelle des ersten Magnets einen Strom von der Intensität k, welcher die kleine Fläche $\lambda$ umfließt, deren Normale gleiche Richtung mit der Achse des Magnets hat, und an die Stelle des zweiten Magnets ebenfalls einen derartigen Strom; so muß dieser Bestimmung gemäß $k\lambda = m$ und $k'\lambda' = m'$ sein. Daraus entspringt für das Drehungsmoment M, welches der erste Strom auf den zweiten ausübt, der Ausdruck: $M = \frac{k\,k'\lambda\,\lambda'}{r^3}$. — Nach der Ampère'schen Formel ergibt sich aber für das Drehungsmoment M′, welches ein kleiner Planstrom auf einen andern aus großer

Entfernung ausübt, der Werth $M' = \frac{1}{2} \frac{i\,i'\,\lambda\,\lambda'}{r^3}$ in absoluten Maßen ausgedrückt. In der letzteren Formel liegt den Stromintensitäten i, i' diejenige Stromintensität zum Grunde, bei welcher zwei gleiche parallele auf der Verbindungslinie senkrechte Stromelemente aus dem der Längeneinheit gleichen Abstande eine Kraft auf einander ausüben, welche sich zur Krafteinheit verhält, wie das Quadrat der Länge jener Stromelemente zum Flächenmaß. Setzt man nämlich in der Ampère'schen Formel

$$f = \frac{i\,i'\,s\,s'}{r^2} (\cos \beta - \cos \alpha \cos \alpha')$$

den Winkel $\beta = 0$, die Winkel $\alpha$ und $\alpha' = 90^0$, den Abstand $r = 1$ und $s = s'$; so erhält man als Werth der elektrodynamischen Kraft für die Einheit der Stromintensität den Werth $s^2$, d. h. in der Ampère'schen Formel wird eine solche Einheit der Stromstärke vorausgesetzt, bei welcher die elektrodynamische Kraft in dem angegebenen Falle sich zu der Krafteinheit verhält wie $s^2 : 1$. — Soll nun der Werth von $M' = \frac{\frac{1}{2} i\,i'\,\lambda\,\lambda'}{r^3}$ nach dem elektrodynamischen Maße mit dem Werthe von $M = \frac{k\,k'\,\lambda\,\lambda'}{r^3}$ nach elektromagnetischem Maße identisch sein, so müssen k und k' nach dem letzteren Maße die nämlichen Stromintensitäten darstellen, wie $i \sqrt{\frac{1}{2}}$ und $i' \sqrt{\frac{1}{2}}$ nach dem ersteren. Hiernach sind alle nach dem elektromagnetischen Grundmaße gemachten Bestimmungen der Stromintensitäten mit dem constanten Factor $\sqrt{2}$ zu multipliciren, um sie auf das der Ampère-schen Formel zum Grund liegende elektrodynamische Intensitätsmaß zurückzuführen.

Um die chemische Wirkung des Stromes mit dessen elektromagnetischer Wirkung zu vergleichen, schaltet man in den Schließungsbogen einer Säule gleichzeitig ein die Tangentenbussole und das Voltameter und vergleicht dann die durch den Strom in beiden Instrumenten hervorgebrachten Wirkungen mit einander. Bezeichnet hiernach a in Kubikcentimetern die auf die Temperatur von $0^0$ und den Barometerstand von 760 Millimeter reducirte von einem Strom in der Minute entwickelte Menge Knallgas, welcher an einer Tangentenbussole vom Halbmesser r eine Ablenkung von $\varphi^0$ hervorbringt; so hat man zur Bestimmung der durch die Stromeinheit nach mechanischem Maß in der Minute gelieferten Gasmenge x die Proportion: $\text{tang}\,\varphi : \frac{2\pi}{H\,r} = a : x$, in welcher wieder H die horizontale Intensität des Erdmagnetismus darstellt. Die Größe x läßt sich also leicht ermitteln, wenn man nur den richtigen Werth von H kennt. — Nach den Versuchen von Weber ist $x = 1{,}0477$ Kubikcentimeter; oder was auf dasselbe hinausläuft, die Stromeinheit nach mechanischem Maße zersetzt in

der Minute 0,00056256 Grammes Wasser oder 0,000009376 Grammes Wasser in der Secunde. Es ist also das elektrolytische Maß der Stromintensität $106\frac{2}{3}$ mal größer als das elektromagnetische. — Um also die Verhältnisse der drei elektrischen Maße, nämlich des elektrolytischen, des magnetischen und des elektrodynamischen zum mechanischen Maße zu ermitteln, braucht man blos das letztere mit einem der übrigen zu vergleichen. Auf dem hier unten angegebenen Wege haben Weber und Kohlrausch diese Frage zu beantworten gewußt.

Zunächst suchten die beiden genannten Gelehrten die Menge E positiver Elektricität nach mechanischem Maße zu messen und bei ihrer Entladung die Ablenkung $\varphi$ der Magnetnadel eines Galvanometers zu beobachten. — Es wurde deßhalb eine kleine Leidener Flasche geladen und ein Theil ihrer Elektricität auf eine große isolirt aufgehängte Kugel übertragen, indem man dieselbe mit dem Knopfe der Flasche in Berührung brachte. Nach Verlauf von drei Secunden wurde die in der Flasche zurückgebliebene Ladung durch den Multiplicator einer Tangentenbussole entladen und die erste Elongation $\varphi$ der mit einem Spiegel nach Art der Magnetometer versehenen Magnetnadel beobachtet. Durch Einschaltung von zwei langen mit Wasser gefüllten Röhren in die Leitung war Sorge getragen worden, daß die Elektricität innerhalb der Drähte blieb und nicht etwa von einer Windung zur anderen übersprang. — Zugleich wurde die große Kugel mit der kleineren Standkugel einer Coulomb'schen Drehwage berührt und der von der großen Kugel an die kleine Kugel abgegebene Theil der Elektricität aus den genau gemessenen Halbmessern dieser Kugeln berechnet. Die Standkugel in der Torsionswage halbirte ihre empfangene Ladung E mit der beweglichen Kugel, worauf letztere abgestoßen wurde. Durch die beobachtete Abnahme der Torsion ergab sich zugleich der Elektricitätsverlust, so daß man im Stande war, die Menge von Elektricität zu bestimmen, welche von der großen Kugel an die Standkugel übergegangen war. Auf diese Weise konnte denn auch die Elektricitätsmenge als bekannt angesehen werden, welche nach Ladung der großen Kugel in der Leidener Flasche zurückgeblieben und durch den Multiplicator entladen war. — Zur Bestimmung der auf der Standkugel vorhandenen Menge E von Elektricität in dem geforderten absoluten Maße für den Augenblick, in welchem die große Kugel geladen wurde, besteht, wenn $\alpha$ die für denselben berechnete Torsion und a den Hebelsarm der beweglichen Kugel darstellt, folgende Relation:

$\frac{E^2}{4} \cdot \frac{a \cos \frac{\alpha}{2}}{4\, a^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}} = \frac{\alpha\, D\, r^4}{l^2}$, in welcher D den Torsionsmodul, r den Radius und l die Länge des Drahtes bezeichnen, an dem der Hebelsarm befestigt

war. — In nachstehender Tabelle sind die Resultate von vier auf einander folgenden Versuchen zusammengestellt. Die mit E überschriebene Columne enthält die entladenen Elektricitätsmengen, die mit s überschriebene die entsprechenden Ablenkungen der Magnetnadel in Skalentheilen und die mit $\varphi$ überschriebene dieselben Ablenkungen im Bogenmaß für den Radius $= 1$.

| Nr. | E | s | φ |
|---|---|---|---|
| 1 | 36060000 | 73,5 | 0,0057087 |
| 2 | 41940000 | 80 | 0,0062136 |
| 3 | 49700000 | 96,5 | 0,0074952 |
| 4 | 44350000 | 91,1 | 0,0070757. |

Wenn nun bei demselben Multiplicator genau dieselbe Elongation erfolgt, das eine Mal indem man die Menge E positiver Elektricität entlud, das andere Mal indem man einen constanten Strom eine kurze Zeit wirken ließ; so kann man sich vorstellen, als wäre innerhalb dieser kurzen Zeit t die Menge $+\frac{1}{2}E$ in der Richtung des Stromes durch den Querschnitt des Leiters geflossen und die Menge $-\frac{1}{2}E$ in entgegengesetzter Richtung durch den Multiplicator gegangen. — Es kommt mithin jetzt darauf an, die kleine Zeit t zu bestimmen, innerhalb welcher ein constanter Strom von der Intensität 1 nach magnetischem Maße durch den Multiplicator derselben Tangentenbussole fließen muß, um der Nadel dieselbe Elongation zu ertheilen. Der Quotient $\frac{E}{2t}$ drückt dann die positive Elektricitätsmenge aus, welche bei einem Strome, dessen Intensität nach magnetischem Maße $= 1$, innerhalb der Secunde in der Richtung des Stromes durch den Querschnitt des Leiters fließt. — Was nun die Berechnung der kurzen Zeit t anlangt, binnen welcher der constante Strom durch den Multiplicator der Tangentenbussole ging; so wird solche nach folgender Betrachtung ausgeführt. Der elektrische Strom ertheilt der Nadel eine gewisse Winkelgeschwindigkeit w, welcher eine bestimmte Elongation $\varphi$ entspricht. Beim Zurückgehen der Nadel wird durch den Magnetismus der Erde und den der Nadel ihre Geschwindigkeit wieder so vermehrt, wie sie durch jene Kräfte beim Vorwärtsgehen der Nadel vermindert worden, was macht, daß die Nadel in der Gleichgewichtslage wieder die Endgeschwindigkeit erlangt hat, welche sie als Anfangsgeschwindigkeit besaß. Nun besteht aber für die hier stattfindende Winkelbeschleunigung f, wenn H die horizontale Componente des Erdmagnetismus, m das magnetische Moment der Nadel, K die auf die Einheitsentfernung reducirte Masse derselben und $\gamma$ einen beliebigen Ablenkungswinkel von der Gleichgewichtslage bezeichnet, der Ausdruck: $f = -\frac{Hm}{K}\sin\gamma$. Aus der vergleichenden Zusammenstellung dieses Ausdruckes mit dem für die Beschleunigung bei der Pendel-

schwingung. gegebenen $f = g \sin \alpha$ ergibt sich, daß die fragliche Geschwindigkeit w mit derjenigen übereinstimmt, welche die in der Einheitsentfernung befindliche Masse erlangt, wenn sie durch die Höhe $(1 - \cos \varphi)$ mit der constanten Beschleunigung $\frac{H m}{K}$ gefallen wäre. Es ist also

$$w = \sqrt{\frac{2 H m}{K} (1 - \cos \varphi)}.$$

Anderseits läßt sich aber annehmen, daß diese Geschwindigkeit in der kurzen Zeit t von Anfang bis zu Ende in einer gegen den magnetischen Meridian senkrechten Richtung mit der constanten Winkelbeschleunigung $f = \frac{H m}{K}$ stattgefunden habe. Es ist folglich

$$t = \frac{w}{f} = \sqrt{\frac{2 K (1 - \cos \varphi)}{H m}} = \varphi \sqrt{\frac{K}{H m}},$$

wenn man für $\cos \varphi$, weil $\varphi$ sehr klein ist, seinen Werth $1 - \frac{\cos^2 \varphi}{2}$ einführt. — Weber und Kohlrausch haben auf diese Weise bei den vier obigen beobachteten Elongationen $\varphi$ für die Zeit t in Secunden folgende Werthe erhalten:

| Nr. | t |
|---|---|
| 1 | 0,0001194 |
| 2 | 0,0001300 |
| 3 | 0,0001568 |
| 4 | 0,0001480. |

Dividirt man jetzt $\frac{1}{2} E$ in den vier Versuchen durch das entsprechende t, so ergibt sich:

| Nr. | $\frac{E}{2t}$ |
|---|---|
| 1 | $151000 . 10^6$ |
| 2 | $161300 . 10^6$ |
| 3 | $158500 . 10^6$ |
| 4 | $149800 . 10^6$; |

oder im Mittel $\frac{E}{2t} = 155370 . 10^6$. — Das mechanische Maß der Stromintensität verhält sich also zum magnetischen wie $1 : 155370 . 10^6$; zum elektrodynamischen wie $1 : 155370 . 10^6 \sqrt{\frac{1}{2}} = 1 : 109860 . 10^6$; zum elektrolytischen wie $1 : 155370 . 10^6 . 106\frac{2}{3} = 1 : 16573 . 10^9$.

Die Ampère'sche Formel, wenn i und i' in mechanischem Maß ausgedrückt werden, verwandelt sich hiernach in folgende:

$$f = \frac{2 i i' ds ds'}{r^2} \cdot \frac{1}{(155370 . 10^6)^2} (\cos \beta - \cos \alpha \cos \alpha').$$

Nun hat aber Weber in seiner trefflichen Abhandlung über elektrodynamische

Maßbestimmungen aus seinem allgemeinen Grundgesetze der Elektricitätslehre für das Ampère'sche Gesetz folgende Form erhalten:

$$f = \frac{16}{c^2} \frac{i\,i'\,ds\,ds'}{r^2} \cdot (\cos\beta - \cos\alpha\cos\alpha'),$$

worüber die mathematische Physik die gewünschte Auskunft ertheilen wird. Aus der vergleichenden Zusammenstellung der beiden vorstehenden Ausdrücke ergibt sich $c = 439450 \cdot 10^6$ Millimeter oder 59320 geographische Meilen in der Secunde. Es ist dies die relative Geschwindigkeit, mit welcher sich zwei elektrische Massen gleichförmig bewegen müssen, wenn sie keine Wirkung auf einander haben sollen.

## IV. Anwendungen des Elektromagnetismus.

### 1. Elektrische Telegraphie. — Nadel-, Zeiger- und Drucktelegraph.

Die elektrischen Telegraphen sind Apparate, mit denen vermittelst gewisser Wirkungen des elektrischen Stromes Signale auf bedeutende Entfernungen schnell übertragen werden. Die erste Idee mit Hülfe der Elektricität zu telegraphiren war die Reibungselektricität dazu zu benutzen. Man spannte zwischen zwei Stationen mehrere isolirte Drähte aus, an deren Enden Paare von Hollundermarkkügelchen aufgehangen waren. Diese divergirten, sobald das eine Ende eines Drahtes mit der in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine verbunden wurde. Durch das Auseinandergehen des einen oder des andern Paares der Kügelchen konnte dieser oder jener Buchstaben signalisirt werden. — Ein anderer Vorschlag bestand darin, auf der einen Station mehrere Glastäfelchen jedes mit einem in Staniolstreifen ausgeschnittenen Buchstaben versehen aufzustellen und das eine Ende eines jeden Buchstabens durch einen besonderen Draht mit der entfernten Station zu verbinden. Mittelst der Entladung einer Leidener Flasche durch einen oder den andern Draht gedachte man den betreffenden Buchstaben durch Ueberspringen von Funken in leuchtender Gestalt zu signalisiren. Der eine und der andere dieser Vorschläge, wie noch verschiedene andere, die Reibungselektricitat zu telegraphischen Zwecken zu benutzen, hatten jedoch keinen günstigen Erfolg, weil abgesehen von der Unbeständigkeit der Elektrisirmaschine es schwer hielt, die Leitungsdrähte gehörig zu isoliren und den störenden Einfluß der Feuchtigkeit der Luft zu beseitigen. — Sömmering hatte die Idee, die durch die Volta'sche Säule bewirkte Wasserzersetzung zur telegraphischen Zeichengebung zu benutzen. Auf der einen Station sollten in einem Wasserbehälter mehrere mit Wasser gefüllte und mit Buchstaben bezeichnete Gläschen umgestülpt werden, dagegen auf der andern Station sich eben so viele und eben so bezeichnete Messingcylinder sich befanden. An jedem dieser Cylinder war ein Draht befestigt,

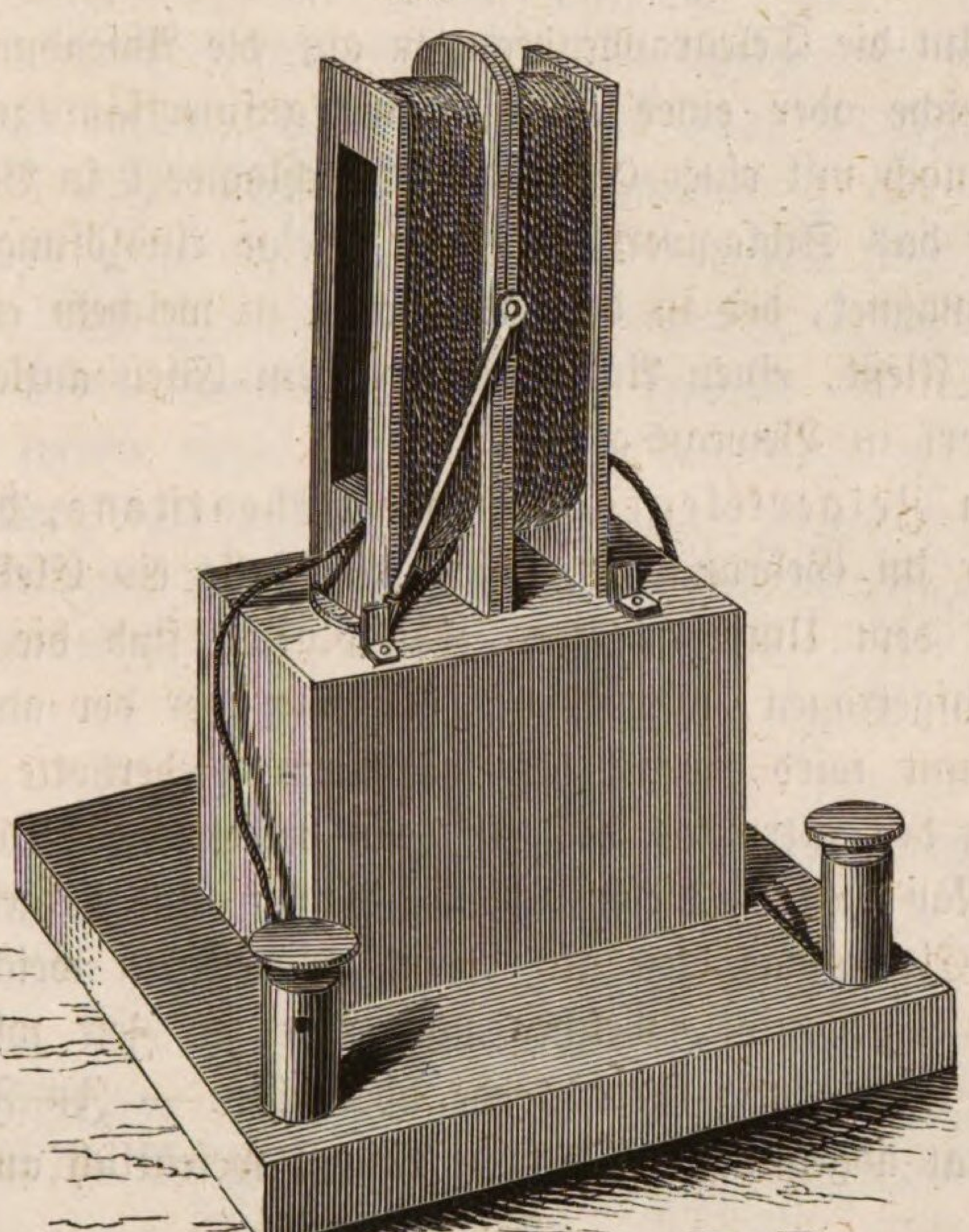
der zu der entfernten Station hinlief und dort in das entsprechende Gläschen mündete. Indem man zwei dergleichen Cylinder mit den Polen einer Volta'schen Säule verband, zersetzte der in den Drähten circulirende Strom in den zugehörigen Gläschen das Wasser, wodurch der betreffende Buchstabe signalisirt ward. Wegen der Unmöglichkeit, die vielen Drähte auf längere Zeit und in einer größeren Strecke gehörig isolirt zu halten, konnte an die Anwendung eines derartigen Telegraphen im Großen nicht gedacht werden. — Später hat Vorselmann de Heer die physiologischen Wirkungen der galvanischen Ströme zu telegraphischen Zwecken in Vorschlag gebracht. An der einen Station, die eine Nachricht zu empfangen hatte, sollte eine Person ihre Finger auf zehn metallischen Tasten halten, welche durch Leitungsdrähte verbunden waren, die mit einem durchaus gleichen Tastenapparat an der andern Station in Verbindung standen. Durch Niederdrücken je zweier Tasten an der letzteren Station ward die Kette geschlossen, wodurch gleichzeitig die Person an der andern Station eine Erschütterung in den Fingern erhielt. Die in verschiedenen Combinationen hervorgebrachten Erschütterungen bezeichneten die verschiedenen Buchstaben und Ziffern. Die Schwierigkeit, die Drahtleitung vollständig zu isoliren, bot bei der Ausführung dieses Telegraphen ebenfalls unübersteigliche Hindernisse dar; auch wurden die Beobachter, welche häufige öfters hintereinander wiederholte elektrische Schläge empfunden hatten, eine Zeit lang unfähig, dergleichen Erschütterungen wahrzunehmen.

Erst nach der Entdeckung des Elektromagnetismus gelang es, die mit der Ausführung der elektrischen Telegraphen im Großen verbundenen Schwierigkeiten zu überwinden. Man kam nämlich bald auf den Gedanken, die durch den galvanischen Strom bewirkte Ablenkung einer Magnetnadel zur Telegraphie zu benutzen. Gauß und Weber in Göttingen führten zuerst im Jahre 1833 einen derartigen Apparat im Großen aus. Aus der Anzahl der bald nach der Rechten, bald nach der Linken erfolgenden Ablenkungen combinirten sich genannte Physiker Zeichen für die einzelnen Buchstaben. — Durch Steinheil in München und Wheatstone in England wurden die Gauß'schen Telegraphen im Jahre 1837 in die Praxis eingeführt. Steinheil machte dabei die folgereiche Entdeckung, daß das Erdreich selbst sich als Leiter für den Strom benutzen lasse und nur ein Leitungsdraht nöthig sei, indem man auf jeder Station die Enden dieses Drahtes mit einer großen in das feuchte Erdreich eingegrabenen Metallplatte verbindet. — Der Leitungsdraht wird entweder in der Luft auf Stangen von 3 bis 4 Meter Höhe fortgeführt oder unter den Boden gelegt. Im ersten Falle ist er durch Stücke von gebrannter Erde isolirt, welche auf den Stangen befestigt sind, im zweiten Falle ist er mit Guttapercha überzogen. Zu den Leitungsdrähten nimmt man Kupfer oder Eisen.

Von Kupfer kann man dünnere Drähte wählen; in neuerer Zeit zieht man die stärkeren Eisendrähte vor, weil sie dauerhafter als die dünnen Kupferdrähte sind. — Wheatstone benutzte die Magnetisirung des weichen Eisens zur telegraphischen Zeichengebung. Die elektrischen Telegraphen haben sehr verschiedene Einrichtungen erhalten. Im Allgemeinen kann man sie in Nadeltelegraphen, Zeigertelegraphen und Drucktelegraphen eintheilen. Von jeder Gattung soll nun das Wichtigste angegeben werden.

Die Figur 72 zeigt einen Nadeltelegraphen, welcher nichts weiter als ein vertical stehender Multiplicator ist, dessen vertical schwebende

Fig. 72.

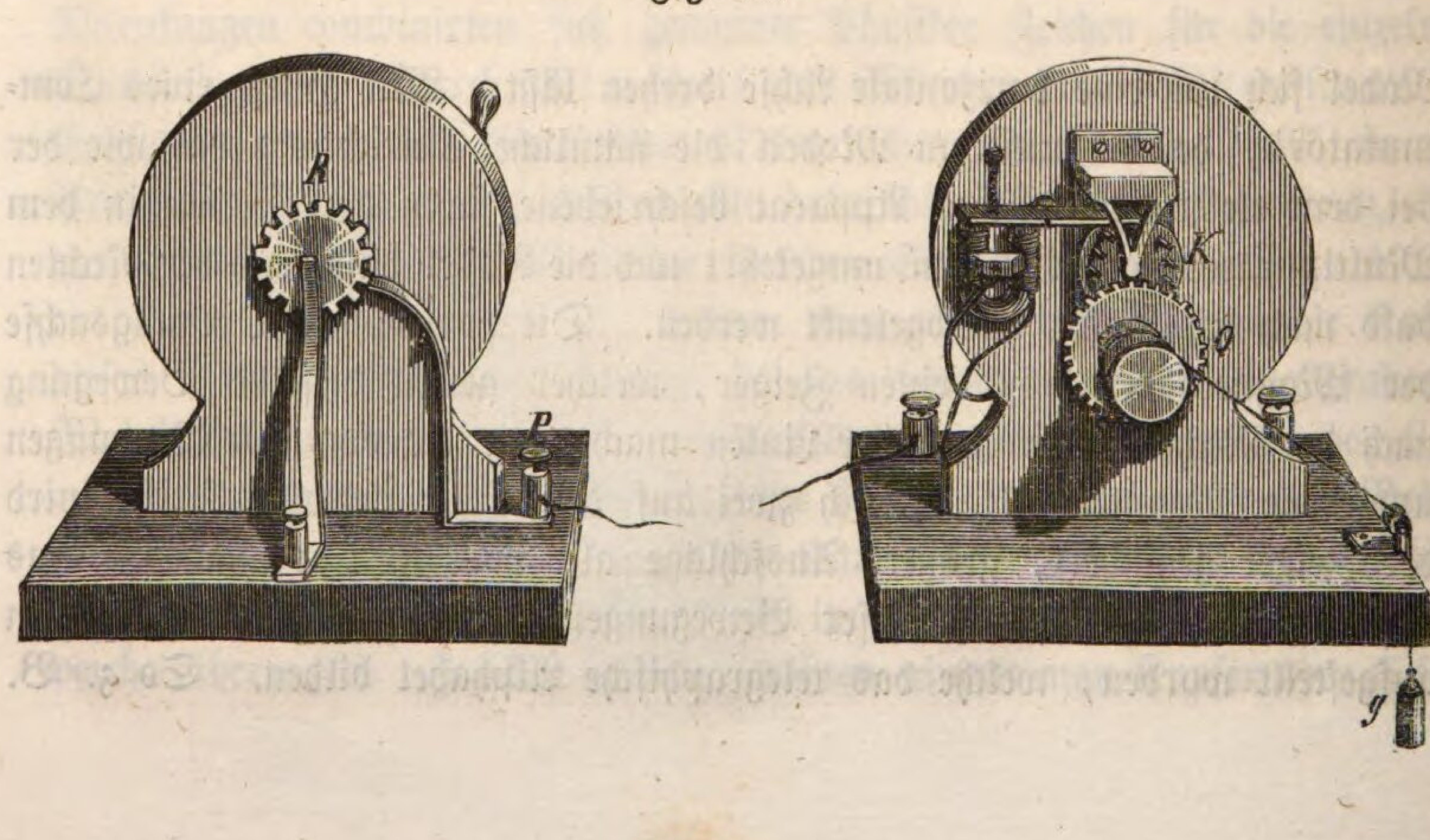


Nadel sich um eine horizontale Achse drehen läßt. Mit Hülfe eines Commutators, der an unserem Modell die nämliche Einrichtung hat wie der bei dem elektrodynamischen Apparat beschriebene, kann der Strom in dem Multiplicator nach Belieben umgekehrt und die Nadel bald nach der Rechten bald nach der Linken hinabgelenkt werden. Die horizontale Drehungsachse der Magnetnadel trägt einen Zeiger, welcher genau dieselbe Bewegung nach der Rechten oder nach der Linken macht, wie die von den Windungen umgebene Magnetnadel. Durch zwei auf der Seite stehende Stifte wird der Zeiger gehindert, größere Ausschläge als von 25° zu machen. Aus der Anzahl und Richtung dieser Bewegungen ist eine Reihe von Zeichen aufgestellt worden, welche das telegraphische Alphabet bilden. So z. B.

A durch zwei Ausschläge nach der Linken; N durch zwei Ausschläge nach der Rechten; C durch zwei Ausschläge erst rechts dann links; D durch zwei Ausschläge erst links dann rechts; u. s. w. bezeichnet. Diese Zeichen sind etwas complicirt und ihre Ausführung zeitraubend, weil manche Buchstaben vier Ausschläge erfordern. — Um diesem Uebelstande abzuhelfen hat man den Doppelnadeltelegraph in Anwendung gebracht: derselbe hat zwei Multiplicatoren, zwei Nadeln, zwei Commutatoren; kurz er ist als die Combination zweier einfachen Nadeltelegraphen zu betrachten, welche deßhalb außer der Erdleitung zwei Leitungsdrähte erfordert. — Auf jeder Station muß ein derartiger Apparat und eine Volta'sche Batterie aufgestellt sein. Um die Telegraphenbeamten auf die Absendung einer telegraphischen Depesche oder eines Telegramms aufmerksam zu machen, steht der Apparat noch mit einer Glocke nebst Schlagwerk in Verbindung. Für gewöhnlich ist das Schlagwerk gehemmt; seine Auslösung geschieht durch einen Elektromagnet, der in dem Moment, in welchem ein Strom durch seinen Draht fließt, einen Anker von weichem Eisen anzieht und dadurch das Schlagwerk in Bewegung setzt.

Bei dem Zeigertelegraphen von Wheatstone, der jetzt in vielen Abänderungen im Gebrauch ist, wird gleichfalls ein Elektromagnet angewendet. Auf dem Umfange eines Zifferblattes sind die Buchstaben des Alphabetes aufgetragen, unter denen der eine oder der andere durch einen Zeiger bestimmt wird, wenn derselbe durch wiederholte Herstellung und Unterbrechung des Stromes bis zu dem betreffenden Buchstaben fortgeführt ist. Man läßt zu diesem Behufe die hin- und hergehende Bewegung des auf den Elektromagneten als Anker vorgelegten weichen Eisenstückes mittelst eines Uhrwerkes, welches von Zeit zu Zeit wieder aufgezogen wird, in eine kreisförmig fortrückende übergehen. — In Figur 73 ist ein solcher Apparat abgebildet. Derselbe besteht wesentlich aus zwei Theilen,

Fig. 73.



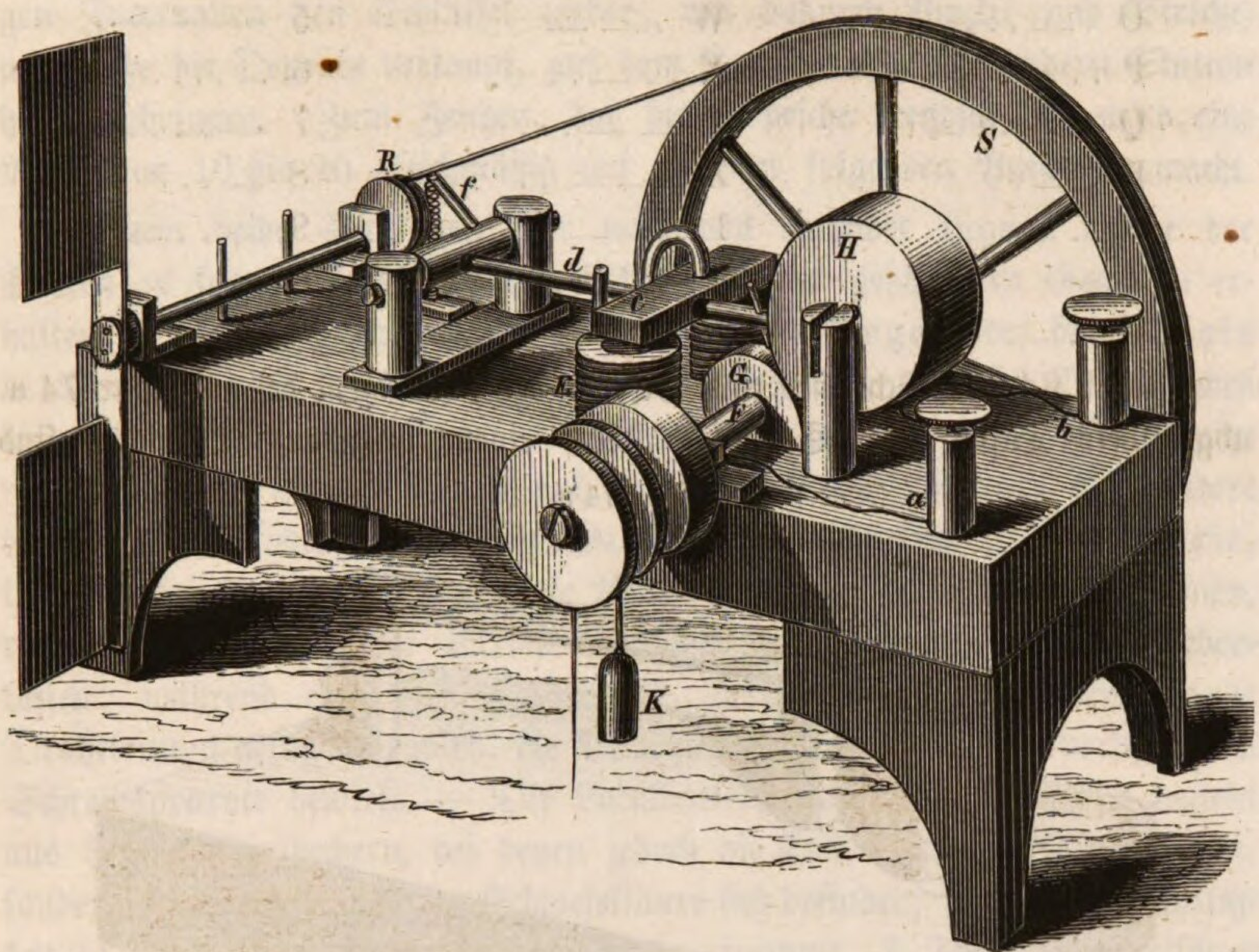
dem zeichengebenden Apparat einerseits, welcher sich an der einen Station befindet, und dem empfangenden Apparat anderseits, der an der andern Station aufgestellt ist. Jeder Apparat hat ein Zifferblatt mit 25 Buchstaben, auf welchem sich ein Zeiger bewegt. Der Zeiger auf der Station, von welcher ein Telegramm fortgesendet werden soll, wird mit der Hand gedreht; dagegen der Zeiger auf der Station, welche das Telegramm empfangen soll, durch die Elektricität in Bewegung gesetzt wird. — Der Strom geht nämlich von dem Messingsäulchen P durch eine Messingfeder in das metallische Zahnrad R und von da in eine zweite Messingfeder durch den Leitungsdraht nach der andern Station. Dort durchläuft er die Drahtwindungen eines vertical stehenden Elektromagnetes, der alsdann ein weiches Eisenstück anzieht, welches einen um seinen Drehpunkt beweglichen Hebel bildet. Dieser läßt dabei ein Kammrad K frei, an dessen horizontaler Achse der Zeiger befestigt ist. Derselbe erhält seine Bewegung durch ein gezahntes Rad Q, welches durch ein Gewicht G, dessen Schnur über die mit dem Rade verbundene Welle geschlungen ist, in Drehung versetzt wird. In seinem Laufe wird das Rad K mittelst eines Echappement bald aufgehalten, bald freigelassen, so daß der Zeiger ruckweise von einem Buchstaben auf den andern fortrückt. Bei Unterbrechung des Stromes fällt der Hebel durch die Kraft einer Feder wieder zurück, wo dann sein Haken die Zähne des Kammrades K abermals ergreift und dasselbe so lange still hält, bis durch Wiederherstellung des Stromes ein neues Fortrücken des Kammrades und des Zeigers ermöglicht wird. — Die nöthigen Unterbrechungen und Herstellungen des Stromes geschehen mit Hülfe des zeichengebenden Apparates. Der Rand des Rades R hat 13 Hervorragungen und eben so viel Einschnitte, welche zusammen den 25 Buchstaben des Alphabetes und dem zwischen A und Z enthaltenen Zwischenraume entsprechen. Dreht man nun den Zeiger und damit das Rad R, so wird die von dem Messingsäulchen P ausgehende Feder das Rad nicht berühren, wenn die Einschnitte an derselben vorübergehen; dagegen bleibt die zweite mit dem Leitungsdrahte in Verbindung stehende Feder stets mit dem Rade R in Berührung. — Bewegt man daher den Zeiger um vier Buchstaben weiter, so wird der Strom zweimal nach der andern Station fortgeleitet und zweimal unterbrochen. Dies bewirkt, daß der Anker des Elektromagnetes zweimal angezogen und zweimal freigelassen wird; was seinerseits macht, daß das Kammrad K ebenfalls um zwei Zähne weiter gedreht wird. Da nun jeder Zahn wie jede Lücke des Rades K auch einem Buchstaben entspricht, so ist der Zeiger auf der die Depesche empfangenden Station um ebensoviel Buchstaben weiter gerückt wie jener auf der die Depesche absendenden Station. — Nach dem eben Gesagten kann man sich leicht Rechenschaft darüber geben, wie zwei Sta-

tionen durch einen derartigen Telegraphen correspondiren können, vorausgesetzt, daß auf jeder der beiden Stationen sowohl der zeichengebende wie der empfangende Apparat aufgestellt sind. An diesem Telegraphen ist ebenfalls noch eine Glocke nebst Schlagwerk angebracht, um durch das Tönen der Glocke auf den Anfang des Telegraphirens aufmerksam zu machen.

Bei der obigen Auseinandersetzung nehmen wir an, daß zwei Drähte zwischen den beiden Apparaten ausgespannt gewesen; der eine um den Strom von dem einen zu dem andern zu leiten, der zweite um den Strom nach dem negativen Pole zurückzuführen. Benutzt man dagegen in Folge der von Steinheil gemachten Wahrnehmung nur den ersten Leitungsdraht, so muß das zweite Ende der Drahtwindungen des Elektromagnets, deren erstes Ende mit dem Leitungsdrahte verbunden ist, mit der in das feuchte Erdreich gesenkten Kupferplatte in leitender Verbindung stehen. Man sagt dann gewöhnlich, der Strom werde durch die Erde zurückgeleitet. Dem ist aber nicht so, sondern die Erde dient nur dazu, um den Uebergang des Stromes zu vermitteln. Steht nämlich der negative Pol der Kette mit der Erde in Verbindung, so geht die positive Elektricität durch einen noch so langen Draht fort, der an dem einen Ende mit dem positiven Pole und an dem andern Ende mit der Erde verbunden ist. Wird aber die Verbindung des negativen Pols mit der Erde aufgehoben, so kann die negative Elektricität nicht mehr entweichen und damit kein Strom in dem Leitungsdraht mehr vor sich gehen.

Schon Steinheil hat einen Drucktelegraphen angegeben, der nicht blos wie die Nadel- und Zeigertelegraphen vorübergehende, sondern bleibende Zeichen liefert. Doch zeichnet sich vor demselben durch größere Einfachheit und praktischere Anwendbarkeit der Drucktelegraph des Amerikaners Morse aus, welcher in der Figur 74 dargestellt ist. — Den wesentlichen Theil an diesem Apparat bildet ein hufeisenförmiger aufrechtstehender Elektromagnet E, dessen Drahtwindungen mit den beiden Leitungsdrähten a und b in Verbindung stehen. Ueber den Polen des Elektromagnets schwebt in einiger Entfernung das weiche Eisenstück C, das an dem Hebel d befestigt ist. Wenn der Strom in die Windungen eintritt, wird das rechte Ende des Hebels niedergezogen; dagegen wird derselbe durch die an seinem andern Arme befestigte Feder f wieder in seine frühere Stellung zurückgeführt, wenn die Eisenkerne ihren Magnetismus verlieren. — An seinem rechten Ende trägt der Hebel einen Stahlstift, welcher bei jedem Niedergange des Ankers C gegen einen Papierstreifen gedrückt wird. Dieser Streifen geht zwischen den beiden Walzen G und H hindurch, die ihn, indem sie sich in entgegengesetzter Richtung drehen, von einer etwa an der

Fig. 74.



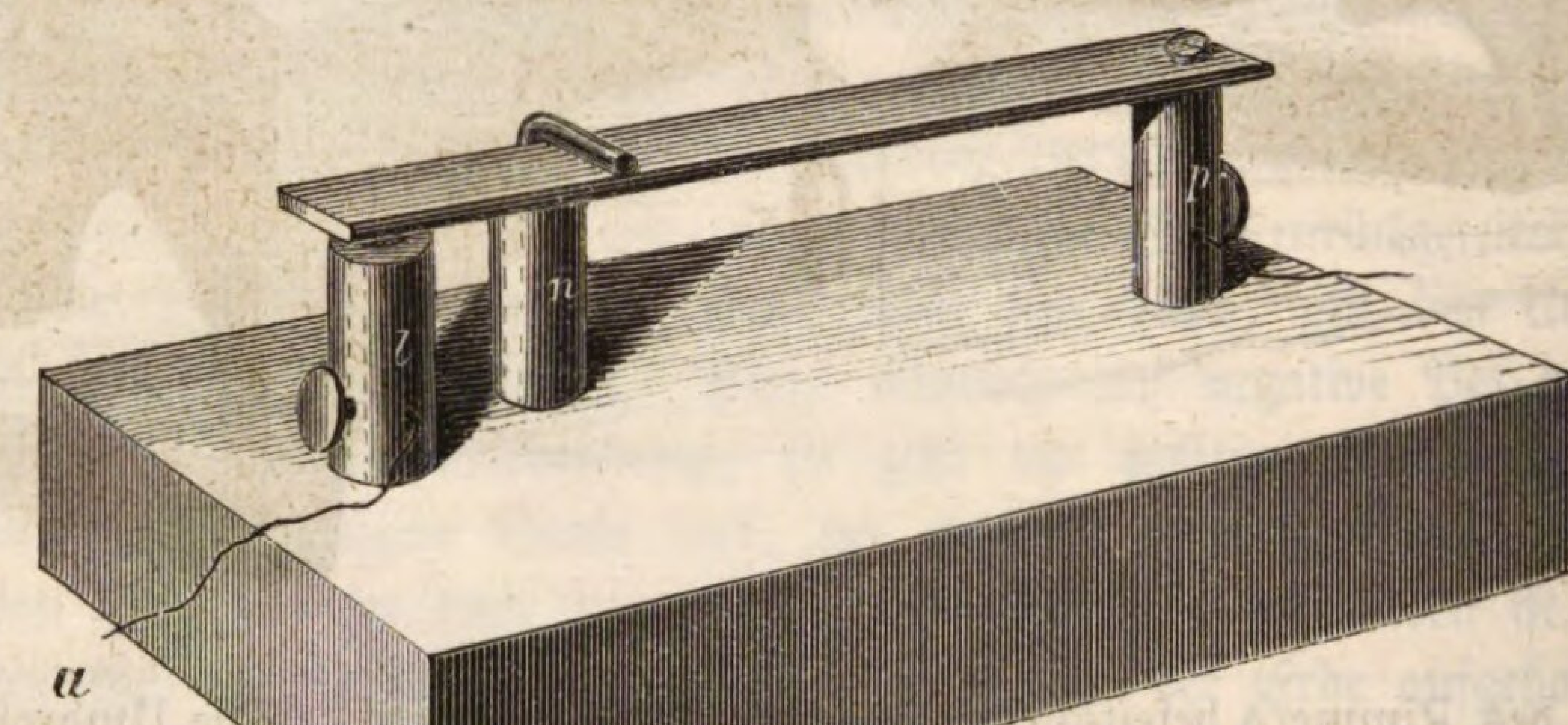

Decke des Zimmers befestigten Rolle allmählig abwickeln. Die Umdrehung der Walze G wird durch ein an der Welle J angehängtes Gewicht K hervorgebracht, während die Umdrehung der Walze H durch Reibung erfolgt. Das auf der Welle J aufsitzende Schwungrad S nebst der in zwei Windflügel auslaufenden Rolle R, um welche und den Umfang des Rades eine Schnur ohne Ende gelegt ist, dient dazu, die durch das Gewicht K hervorgebrachte beschleunigte Bewegung in eine möglichst gleichförmige zu verwandeln. — In der Mitte der Walze G befindet sich eine Rinne, in welche beim Anziehen des Ankers der Stift hineingedrückt wird, was eine Vertiefung in dem die Rinne überdeckenden Papierstreifen zur Folge hat. Läßt man den galvanischen Strom blos einen Moment geschlossen, so drückt der Stift einen Punkt in das Papier; bleibt aber der Strom einige Zeit lang geschlossen, so entsteht ein Strich, indem das Papier unterdessen fortgezogen wird. Aus dergleichen Punkten und Strichen hat man feste Zeichen für die einzelnen Buchstaben und Ziffern gebildet. Die dazu gewählten sind folgende:

| | | |
|---|---|---|
| A .— | E . | J . . |
| B — . . . | F . . — . | K — . — |
| C — . — . | G — — . | L . — . . |
| D — . . | H . . . . | M — — |

| | | |
|---|---|---|
| N —. | V ...— | 4 ....— |
| O .—... | W .—— | 5 ——— |
| P ..... | X ..—.. | 6 ...... |
| Q ——.— | Y ——... | 7 ——.. |
| R .—. | Z .——.. | 8 —... |
| S ... | 1 .——. | 9 —..— |
| T — | 2 ..—.. | 0 — |
| U ..— | 3 ...—. | |

Zum sicheren Schließen und Oeffnen der Kette dient der in Figur 74 a. abgebildete Taster oder Schlüssel. Auf einem hölzernen Brettchen sind

Fig. 74 a.




drei Messingsäulchen eingelassen. Das eine Säulchen l ist durch eine Klemmschraube mit dem nach der entfernten Station gehenden Leitungsdraht a verbunden; in das zweite Säulchen p ist der eine Polardraht der Batterie eingeschraubt; das dritte Säulchen n nimmt den andern Polardraht auf, außerdem aber auch noch den zweiten Leitungsdraht b oder den mit der Erdplatte verbundenen Draht. — Auf dem Säulchen p ist eine Messingplatte befestigt, welche für gewöhnlich das Säulchen l nicht berührt. Wird aber die Platte auf dieses Säulchen herabgedrückt, so kann dann der Strom durch den Leitungsdraht a und die Windungen des Elektromagneten gehen, jedoch nur so lange als die Messingplatte mit dem Säulchen l in leitender Verbindung steht. — Soll von einer Station eine Depesche abgehen, so drückt der Telegraphist den Schlüssel mehrmals rasch hinter einander nieder; wodurch ein abwechselndes Anziehen und Entfernen des Ankers des Elektromagnets erfolgt. Das dadurch hervorgebrachte Klappern macht den Telegraphisten auf der andern Station auf den Anfang des Telegraphirens aufmerksam; worauf er, nachdem er auf ähnliche Weise geantwortet hat, den Papierstreifen in Bewegung setzen läßt. Der Tele-

graphist, der die Depesche absendenden Station drückt dann in den gehörigen Intervallen den Schlüssel nieder, um dadurch Punkte und Striche, wie solche die Depesche verlangt, auf dem Papierstreifen der andern Station hervorzubringen. Zum Zeichen, daß die Depesche beendigt ist, wird eine Reihe von 10 bis 20 gleichmäßig auf einander folgenden Punkten gemacht.

Wenn beide Stationen sehr weit von einander liegen, würde der Strom zu schwach sein, um den Schreibapparat gehörig in Gang zu erhalten. In diesem Falle pflegt man den Uebertrager oder das Relais in Anwendung zu bringen. Ein solcher Uebertrager hat im Wesentlichen die nämliche Einrichtung wie der Schreibapparat; nur dient seine Spitze nicht dazu, um einen Eindruck auf Papier zu machen, sondern eine andere in der Nähe befindliche galvanische Batterie, die sogenannte Localbatterie, in Thätigkeit zu setzen. Auf diese Weise wird das Schließen und Oeffnen, wozu schon ein schwacher Strom hinreicht, dem Hauptleitungsdraht überlassen, während erst die Localbatterie, deren Strom durch keine lange Drahtleitung geschwächt wird, die Bewegungen in dem mit ihr verbundenen Schreibapparate bewirkt. — Die Localbatterie oder Schreibbatterie besteht aus 3 Zinkkohlenbechern, bei denen jedoch die Kohle nicht in Salpetersäure, sondern in Wasser mit 1/10 Schwefelsäure sich befindet; dagegen die Flüssigkeit in der Thonzelle, welche das Zink aufnimmt, 1 Theil Schwefelsäure auf 30 Theile Wasser enthält. — Die Hauptbatterie oder Leitungsbatterie, deren Strom durch den ganzen Leitungsdraht nach der entfernten Station hingeleitet wird, besteht für eine Entfernung von 10 Meilen aus 6 Zinkkohlenbechern von der oben angegebenen Einrichtung.

Es ist nothwendig, die Telegraphenstationen gegen den Blitzschlag zu schützen. Dazu dienen die telegraphischen Blitzableiter, deren Einrichtung auf der von Steinheil beobachteten Thatsache beruht, daß die atmosphärische Elektricität stets den kürzesten Weg zur Erde nimmt und lieber eine kleine in der Drahtleitung befindliche Unterbrechung überspringt, als den Umweg durch den langen Draht zu machen; dagegen der galvanische Strom eher eine Leitung von mehreren hundert Meilen durchläuft, als daß er über eine noch so kleine Unterbrechung überspringt. — Steinheil führt deßhalb die Telegraphenleitung über das Stationsgebäude dergestalt, daß der Draht an einer Stelle über dem Gebäude durchschnitten wird und seine Enden an zwei blos durch ein feines Seidenzeug getrennte Kupferplatten angelöthet werden. Von diesen Platten, deren eine mit der nach der Erde führenden Leitung in Verbindung ist, gehen zwei Drähte zu dem Telegraphenapparate. Auf diese Weise setzt denn der an einer Kupferplatte angelangte galvanische Strom seinen Weg zum Telegraphenapparat, von demselben nach der zweiten Kupferplatte durch die Leitung weiter fort; da-

gegen durchbricht die atmosphärische Elektricität den schlechten Leiter zwischen den beiden Platten und schmilzt im schlimmsten Falle nur die dünnen Drähte ab, ohne in irgend welcher Weise den Telegraphenapparat zu beschädigen.

## 2. Fortpflanzungsgeschwindigkeit des elektrischen Stromes.

Im Jahre 1840 haben die Amerikaner Walker und Gould die Geschwindigkeit des elektrischen Stromes mit Hülfe der zwischen Washington und St. Louis befindlichen Telegraphenleitung zu ermitteln gesucht. Die zwischen beiden Endstationen liegenden drei Mittelstationen Pittsburg, Cincinnati und Louisville nahmen sie dabei ebenfalls zu Hülfe. Auf allen diesen Stationen waren Morse'sche Telegraphen aufgestellt und die Einrichtung so getroffen, daß längere Zeit hindurch ein Strom durch die ganze Linie ging; auf diese Weise wurde an jeder Station innerhalb jener Zeit auf dem sich abwickelnden Papierstreifen ein langer Strich hervorgebracht. — An der einen Endstation Washington wurde der Strom zu Ende jeder Secunde einen Moment unterbrochen; dadurch entstand an jeder Station zwischen zwei Secundenstrichen eine kurze Unterbrechung, welche wir Secundenpause nennen wollen. An der andern Endstation St. Louis wurde der Strom von Zeit zu Zeit einen Moment lang unterbrochen, wodurch an allen Stationen in dem entsprechenden Secundenstriche eine Unterbrechung zu Stande kam, welche die Signalpause heißen mag. — Es zeigte sich nun, daß die Signalpause auf den verschiedenen Stationen nicht an der gleichen Stelle des entsprechenden Secundenstriches sich befand; sie war in St. Louis nahe am Anfange und rückte um so mehr dem Ende des Striches zu, je näher die Station nach Washington zu lag. Diese Verrückung rührt offenbar daher, weil die Secundenpausen sich gerade in der entgegengesetzten Richtung von den Signalpausen fortpflanzen. — Nimmt man die Länge eines Secundenstriches als Einheit an, so gibt die Differenz in der Lage der Signalpausen an den beiden Endstationen in Bruchtheilen einer Secunde das Doppelte der Zeit an, welche der elektrische Strom braucht, um von einer Endstation bis zur andern zu gelangen.

Aus einer größeren Reihe derartiger Versuche haben Walker und Gould für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des elektrischen Stroms in der Secunde 3500 geographische Meilen als Mittelwerth gefunden; also ohngefähr 18 mal kleiner als die Geschwindigkeit, welche Wheatstone bei der Reibungselektricität gefunden hat. — Zur amerikanischen Telegraphenleitung diente Eisendraht von 3 Millimeter Durchmesser, bei Wheatstone's Leitung wurden Kupferdrähte verwendet, welche 1,7 Millim. Durchmesser hatten. Der specifische Leitungswiderstand des Eisens ist 6 mal größer als der des Kupfers, dagegen hatten die amerikanischen Drähte

einen 3 mal größeren Querschnitt als die Drähte beim Wheatstone'schen Versuche; woraus folgt, daß der Leitungswiderstand bei der amerikanischen Leitung doppelt so groß war, als bei Wheatstone's Leitung. Auf die Ungleichheit des Leitungswiderstandes läßt sich demnach der bedeutende Unterschied zwischen den Wheatstone'schen und Walker'schen Resultaten nicht zurückführen: die Verschiedenheit kann ihren Grund nur in dem Umstand haben, daß das eine Mal mit Reibungselektricität, das andere Mal mit Berührungselektricität experimentirt wurde.

Im Jahre 1850 haben Fizeau und Gounelle die Geschwindigkeit des galvanischen Stromes auf der Telegraphenleitung von Paris nach Amiens und Rouen zu bestimmen versucht. Ihre dabei erhaltenen Resultate weichen aber bedeutend von denen ab, welche Walker und Gould gefunden haben. Die Resultate ihrer Untersuchungen sind nämlich folgende. In einem Eisendrahte von 4,5 Millimeter Durchmesser pflanzte sich die Elektricität mit einer Geschwindigkeit von 11765 Meilen fort. — In einem Kupferdrahte von 2,5 Millimeter Durchmesser betrug die Geschwindigkeit 19620 Meilen. — Beide Elektricitäten haben einerlei Fortpflanzungsgeschwindigkeit. — Die Anzahl und Größe der Elemente der Kette hat keinen Einfluß auf die Geschwindigkeit der Elektricität.

Aus den Versuchen, welche zwischen den Sternwarten von Greenwich und Edinburg mit einem Kupferdrahte gemacht worden, ergab sich eine Geschwindigkeit von ohngefähr 1400 Meilen. — In einem unterseeischen Drahte zwischen den Sternwarten von Greenwich und Brüssel erhielt man blos die Geschwindigkeit von 50 Meilen. Diese große Differenz ist dem Einflusse der den Draht umgebenden Flüssigkeit zuzuschreiben. Der Zukunft mag es anheim gegeben werden, über diesen wichtigen und interessanten Gegenstand den gewünschten Aufschluß uns zu verschaffen.

## 3. Elektrische Uhren. — Elektrisches Chronoskop.

Elektrische Uhren werden durch kein Gewicht, durch keine Feder getrieben, sondern blos durch die elektromagnetische Kraft im gehörigen Gange erhalten. Es sind eigentlich blos Zeigerwerke, welche durch das Hin- und Hergehen des Ankers eines Elektromagneten in ähnlicher Weise in Bewegung gesetzt und regulirt werden, wie es bei gewöhnlichen Uhren durch die Schwingungen des Pendels geschieht. Das momentane Schließen der Kette wird am Ende einer jeden Secunde oder einer jeden Minute durch eine Normaluhr bewirkt, indem eine damit in Verbindung stehende Batterie geschlossen und gleich wieder geöffnet wird. Der Secundenzeiger oder der Minutenzeiger der elektrischen Uhr wird so auf dieselbe Art in Bewegung gesetzt wie der Zeiger an dem Zeigertelegraphen. Auf diese Weise kann

mit einer Normaluhr eine Menge in die Leitung eingeschalteter elektrischer Uhren in übereinstimmendem Gange erhalten werden.

Man hat auch die elektromagnetische Kraft als Triebkraft für die Uhren benutzt. Zu diesem Behufe wird auf eine Holzplatte eine Kupferplatte befestigt, an welcher das Pendel aufgehängt ist. Mit dem einen Pole der Batterie ist jene Kupferplatte verbunden, von welcher zugleich ein isolirter feiner Kupferdraht an der Pendelstange herabläuft, sich unten auf einer Holzspule zu einer Spirale aufwindet und oben an der Pendelstange an einer Feder endigt, mit welcher er in metallischer Berührung steht. Diese Feder trägt ein Platinknöpfchen, das einem mit dem andern Pole der Batterie in Verbindung stehenden Kupferplättchen gegenüberliegt und mit demselben in Berührung tritt, wenn die Spirale aus der lothrechten Stellung nach der Seite des Plättchens hin gelangt ist. Die Spirale befindet sich zwischen zwei Stahlmagneten, von denen der auf der Seite des Kupferplättchens liegende abstoßend, der andere dagegen anziehend auf die Spirale wirkt, wenn solche von dem elektrischen Strome durchlaufen wird. Das Pendel schwingt also nach der Seite hin, welche derjenigen entgegengesetzt ist, auf der das Kupferplättchen liegt; was wegen der Trennung des Platinknöpfchens und des Kupferplättchens eine Unterbrechung des Stromes nach sich zieht. Beim Zurückgehen des Pendels kommen jene beide Stücke abermals mit einander in Berührung, wodurch das Pendel einen neuen Impuls nach der nämlichen Richtung erfährt. Auf diese Weise dauert die Bewegung ununterbrochen fort, so lange die Batterie in Kraft bleibt.

Das von Wheatstone erfundene elektrische Chronoskop setzt uns in Stand, sehr kleine Zeittheile genau zu messen. Dasselbe ist ein durch ein Gewicht in Bewegung gesetztes Uhrwerk, dessen Hemmung aus einem gezahnten Rädchen mit 100 Zähnen und einer Feder besteht, welche 1000 Schwingungen in einer Secunde macht. Bei jeder Schwingung rückt das Rädchen um einen Zahn weiter, vollbringt mithin in $^1/_{10}$ Secunde eine Umdrehung. An der Welle des Rädchens ist ein Zeiger angebracht, der vor einem in 100 Theile getheilten Zifferblatt sich bewegt und demnach $^1/_{1000}$ Secunde angibt. Außerdem ist an der Welle jenes Rädchens ein Zwischenrad, dessen Zähne in ein größeres Rad eingreifen, welches sich in 10 Secunden einmal umdreht und einen an seiner Achse befestigten Zeiger bewegt, der so $^1/_{10}$ Secunde anzeigt. Ist das Uhrwerk im Gange, so hört man einen Ton, dessen Gleichmäßigkeit den eingetretenen Beharrungszustand in dem Gange des Uhrwerks zu erkennen gibt; welcher Beharrungszustand mehrere Minuten andauern kann, ehe man das Gewicht wieder aufzuziehen braucht. — Mit diesem Uhrwerk steht ein Elektromagnet in solcher Verbindung, daß, so lange der elektrische Strom durch den um ihn

gewundenen Draht geht, die Zeiger still stehen, dagegen auf der Stelle wieder sich bewegen, wenn der Strom unterbrochen wird, ohne daß dadurch der gleichförmige Gang des Uhrwerks im Mindesten gestört wird. Man kann hiernach die Zeit an den Zifferblättern bis auf 1/1000 Secunde ablesen, welche während der Unterbrechung des Stroms verflossen ist.

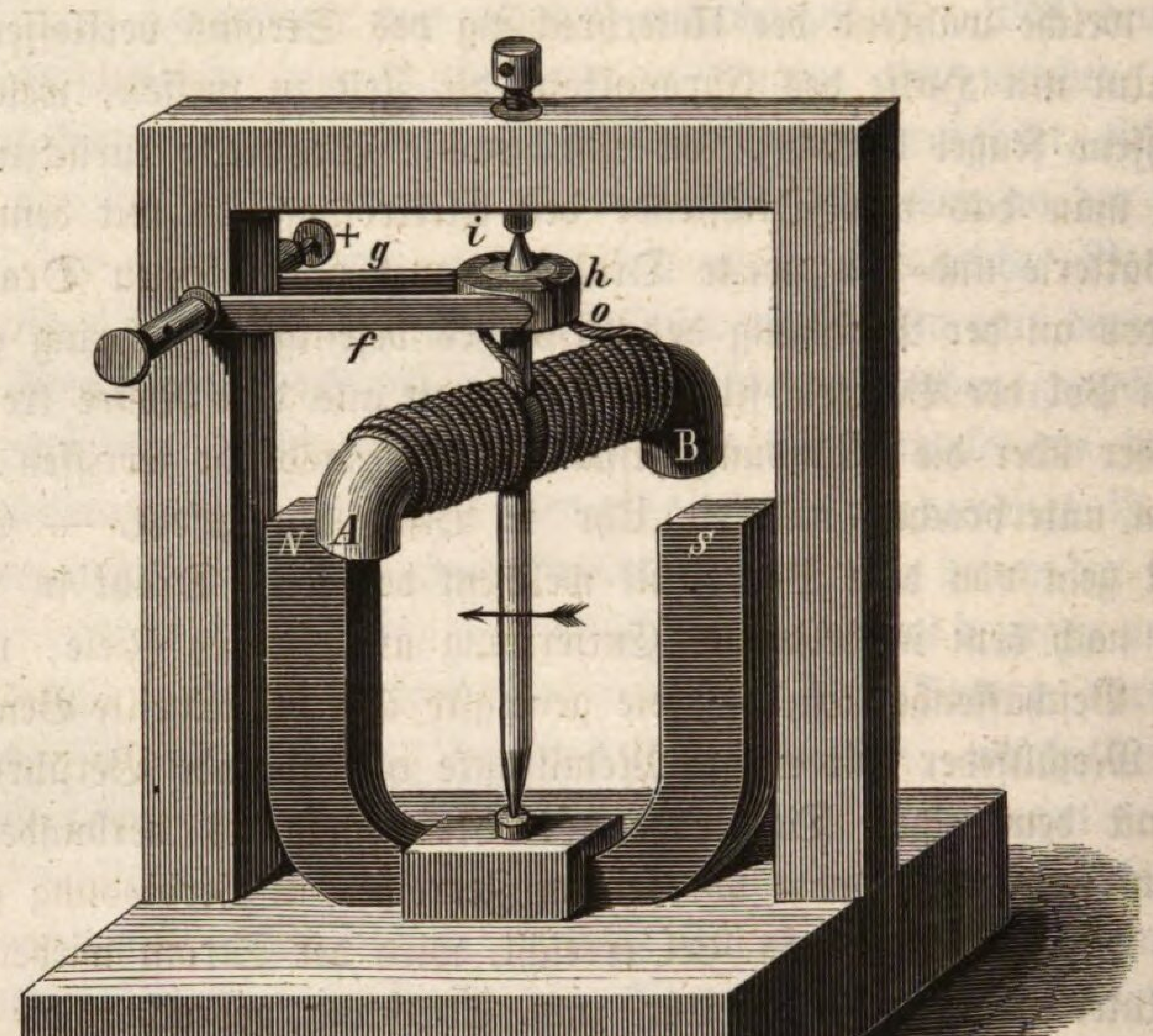
Um mit Hülfe des Chronoskops die Zeit zu messen, welche eine abgeschossene Kugel braucht, um eine gewisse Wegstrecke zurückzulegen, verbindet man das eine Drahtende des Elektromagnets mit dem einen Pol der Batterie und das zweite Drahtende mit einem feinen Draht, welcher über den an der Mündung des Geschützes befestigten Holzring gehend zum andern Pol der Batterie führt. Durch die aus dem Rohre tretende Kugel wird der über die Mündung gespannte Leitungsdraht zerrissen, damit der Strom unterbrochen und die Uhr in Bewegung gesetzt. — Ein zweiter Draht geht von dem Pole, mit welchem der feine Draht in Verbindung steht, nach dem in beliebiger Entfernung aufgestellten Ziele, welches von solcher Beschaffenheit ist, daß die geringste ihm mitgetheilte Bewegung eine kleine Metallfeder mit einem Metallstücke in dauernde Berührung bringt, das mit demjenigen Drahtende des Elektromagnets verbunden ist, mit welchem der feine Draht vor seinem Zerreißen in Verbindung gewesen. — Wenn also die Kugel das Ziel erreicht, wird der Strom wieder hergestellt, der Anker angezogen, die Uhr zum Stillstand gebracht: die veränderte Stellung der Zeiger gibt die Zeit an, welche von der Kugel von der Mündung bis zum Ziel gebraucht wurde. — Auf ähnliche Weise läßt sich auch die Zeit bestimmen, welche eine fallende Kugel für eine bestimmte Fallhöhe nöthig hat; desgleichen die Zeit, die verfließt von dem Augenblicke, in welchem das Pulver entzündet, bis zu dem, in welchem die Kugel den Lauf verläßt.

## 4. Der Elektromagnetismus als Triebkraft.

Bald nach der Entdeckung des Elektromagnetismus war man bestrebt gewesen, denselben zum Betriebe von Maschinen zu benutzen. Obschon diese Bestrebungen bis jetzt noch nicht mit dem gewünschten Erfolg gekrönt sind, es auch sehr zweifelhaft erscheint, ob die elektrische Kraft sich eignen wird, mit Vortheil die Dampfkraft zu ersetzen; so dürfte es doch nicht ohne Interesse sein, Einiges von den verschiedenen Methoden kennen zu lernen, welche man zur Erzeugung einer bewegenden Kraft mittelst des Elektromagnetismus angewendet hat. Sämmtliche bisher gefertigte elektromagnetische Maschinen beruhen darauf, die mittelst eines elektrischen Stromes durch magnetische Anziehung eingeleitete Bewegung durch Umkehrung jenes Stromes in Folge der dadurch hervorgerufenen magnetischen Abstoßung zu unterhalten und so durch dergleichen wechselnde Anziehungen

und Abstoßungen eine fortdauernde Bewegung zu erzeugen. — Die Grundidee der elektromagnetischen Motoren läßt sich durch Ritchie's in Figur 75 abgebildeten rotirenden Elektromagneten zur deutlichen Anschauung

Fig. 75.




bringen. Zwischen den beiden Schenkeln eines Stahlmagnets oder Elektromagnets befindet sich eine verticale in Spitzen auslaufende stählerne Achse, an welcher ein horizontaler Elektromagnet befestigt ist, dessen Pole bei der Drehung um die verticale Achse über den Polen des Stahlmagnets oder des verticalen Elektromagnets hinweggehen. Auf der stählernen Achse ist eine Scheibe von Holz befestigt, welche von einem aus zwei nicht in leitender Verbindung stehenden Hälften h und i zusammengesetzten Messingringe umgeben ist. Das eine Ende der Drahtwindungen des Elektromagnets ist an dem Halbringe h, das andere Ende an dem Halbringe i angelöthet. Auf dem Umfange der Scheibe schleifen zu beiden Seiten zwei Metallfedern f und g mit Klemmschrauben zur Aufnahme der Polardrähte der Batterie. — Läßt man nun den Strom durch die Feder g zum Halbringe h eintreten, so fließt er in den Windungen um das Eisen herum, worauf er dann auf dem Halbringe i durch die Feder f zum andern Pole der Kette gelangt. Das weiche Eisen wird dadurch zu einem Magnet, dessen Südpol A vom Nordpol N und dessen Nordpol B vom Südpol S des feststehenden Magnets angezogen wird, was eine von Ost

durch Süd nach West gehende Rotationsbewegung des Elektromagnets zur Folge hat. In dem Momente, in welchem die Pole des letzteren an den ungleichnamigen Polen des feststehenden Magnets vorübergegangen sind, gehen die isolirenden Zwischenräume zwischen h und i unter den Federn weg, wobei die Feder f auf h und die Feder g auf i zu liegen kommt. Der Strom erhält dadurch eine der früheren entgegengesetzte Richtung, die Pole des weichen Eisens werden daher umgekehrt, so daß nunmehr die gleichnamigen Pole einander abstoßen und die Rotation in gleicher Richtung fortdauert. — Wenn bei der anfänglichen ruhigen Lage des horizontalen Elektromagnets der Strom nicht in der früher zuerst angenommenen, sondern in der entgegengesetzten Richtung geleitet worden wäre, so würde der Elektromagnet gerade in der umgekehrten Richtung, d. h. von Ost durch Süd nach West zu rotiren beginnen und in dieser Bewegung unausgesetzt verharren, wenn bei jedem Hinweggehen des Elektromagnets über den Polen des Stahlmagneten der Strom umgekehrt würde.

Im Allgemeinen lassen sich die elektromagnetischen Motoren in zwei Klassen abtheilen, in solche nämlich, bei denen die eben besprochenen Anziehungen und Abstoßungen von feststehenden Elektromagneten auf bewegliche ausgeübt werden, und dann in solche, bei denen galvanische Spirale auf Eisenkerne die Kraftäußerungen abgeben und so eine fortdauernde Bewegung hervorbringen. Nach dem ersten Princip hat Jacobi seine elektromagnetische Maschine construirt. Vier große hufeisenförmige Elektromagnete stehen auf einer beweglichen Scheibe, welche von einer horizontal liegenden Welle getragen wird, auf der die Vorrichtung für den Stromwechsel angebracht ist. Jenen vier Elektromagneten stehen vier andere Elektromagnete gegenüber, welche an einem Ständer unbeweglich befestigt sind. Leitet man nun den galvanischen Strom einer starken Batterie durch die Drahtwindungen jener acht Hufeisen, so ziehen sich die ungleichnamigen Pole an und die Scheibe bewegt sich, bis diese Pole einander gegenüber stehen; gleichzeitig wird aber dann die Richtung des Stromes entweder in den festen oder in den beweglichen Elektromagneten mittelst des Commutators geändert, wodurch die Pole, welche bisher einander angezogen haben, nun einander abstoßen, was macht, daß die Rotation fortdauert. — Mit einer derartigen Maschine, der eine Batterie von 64 Grove'schen Elementen die Elektricität zuführte, setzte Jacobi im Jahre 1839 ein Boot auf der Newa mit einer Pferdekraft in Bewegung. Auch gelang es mittelst einer solchen elektromagnetischen Maschine, einen Wagen in Bewegung zu setzen. Alle Maschinen dieser Art haben jedoch den Nachtheil, daß der in dem weichen Eisen vorhandene Magnetismus weder vollständig verschwindet, noch der wirklich verschwindende plötzlich wirkungslos wird. Beide Erscheinungen verursachen eine Kraftverringerung der Maschine und hemmen

deren Gang. Diesen Nachtheil hat man dadurch zu beseitigen gewußt, daß man den Magnetismus in dem Eisenkern nicht umkehrt, sondern nur den Strom in einer elektrischen Spirale umsetzt, innerhalb welcher der Elektromagnet sich dreht. Durch die Umkehrung des Stromes in der Spirale kommt nämlich kein so nachtheiliger Kraftverlust zu Stande, wie solcher durch Umkehrung des Magnetismus im Elektromagneten bewirkt wird.

Die nach dieser Idee von Stöhrer ausgeführte Maschine hat eine horizontale drehbare Welle, welche den Elektromagneten trägt, dessen 132 Windungen aus 2 Millim. dickem Kupferdraht gebildet sind. Um zwei aneinander befestigte längliche Holzrahmen ist die aus 160 Windungen zusammengesetzte Spirale gelegt, in deren Zwischenräume der Elektromagnet sich frei bewegen kann, dessen an den Enden befestigte starke viereckige Eisenplatten zur Verstärkung der Wirkung beitragen. — Wenn nun ein Strom gleichzeitig durch die Windungen der Rahmen und durch die Windungen des Elektromagnets fließt, so wird letzterer sich rechtwinklig zur Ebene der Rahmen stellen und in Folge des Beharrungsvermögens etwas über diese Lage hinausgehen. In demselben Augenblicke wird aber der Strom in den Rahmenwindungen plötzlich umgekehrt, während er in den Windungen des Elektromagnets unverändert bleibt. Dadurch wird der Elektromagnet getrieben, die angefangene Bewegung fortzusetzen, den Rahmenwindungen sich wieder zu nähern und durch sie hindurch zu gehen. Nach dieser Ueberschreitung wird die Richtung des Stromes in den Rahmenwindungen abermals umgekehrt, mithin die erste wieder hergestellt, was macht, daß der Elektromagnet in dem nämlichen Sinne weiter rotirt. — Um die Umkehrungen des Stromes zur rechten Zeit eintreten zu lassen, ist eine passende Vorrichtung an der horizontalen Welle des Elektromagnets angebracht. Zugleich ist an jener Welle ein Zahnrad befestigt, welches dazu dient, die gewonnene Kraft auf die in Bewegung zu setzende Maschine zu übertragen. — Im vorliegenden Falle, wo es sich darum handelt, dem Elektromagneten seinen bestimmten Magnetismus zu belassen und den Strom in den Rahmenwindungen zeitweise umzukehren, ist es vortheilhaft, den Strom der Batterie in zwei Theile zu sondern, und den einen Theil zur Magnetisirung des Elektromagnets und den andern durch die Rahmenwindungen zu leiten. Auf diese Weise gelingt es, den Verlust an Magnetismus zu vermeiden, welchen der Elektromagnet in Folge des Wechsels des Stroms erfährt, wenn man denselben Strom, welcher durch die Rahmenwindungen fließt, zugleich zur Magnetisirung des Elektromagnets verwendet.

Eine andere Weise, die Wirkung einer galvanischen Spirale als Betriebskraft zu benutzen, besteht darin, daß man einen in der Achse der

Spirale befindlichen cylindrischen Eisenstab durch den in den Windungen der Spirale circulirenden elektrischen Strom in diese hineinziehen läßt. Auf eine solche Einwirkung von Drahtrollen, welche von elektrischen Strömen durchflossen werden, gründet sich das Verfahren, das Page in Nordamerika zur Construction einer elektromagnetischen Locomotive angewendet hat. — Zwei Schraubencylinder sind in horizontaler Lage befestigt und mit ihren Achsen genau in dieselbe gerade Linie gestellt. Zwei durch einen starken Messingdraht miteinander verbundene Eisenstäbe sind an einem beweglichen Rahmen befestigt, welcher ihnen zur Führung dient. Wenn der Strom durch eine Spirale fließt, wird der eine Stab in diese Spirale hineingezogen und damit eine Bewegung nach einer Seite hin, z. B. nach der Linken hervorgebracht. Sobald besagter Stab ganz in die Spirale hineingeschoben ist, wird der Strom in derselben unterbrochen und zugleich durch die andere Spirale geleitet. Hierdurch wird der zweite Stab in letztere Spirale hineingezogen und damit eine Bewegung nach der entgegengesetzten Seite, also nach der Rechten, eingeleitet. Ist die Bewegung nach der rechten Seite hin vollendet, so wird der Strom in der zweiten Spirale unterbrochen und abermals durch die erste Spirale geleitet, wodurch wieder eine Bewegung nach der Linken hin zu Stande kommt. Auf diese Weise wird dann eine hin- und hergehende Bewegung erzeugt, welche mittelst Kurbel und Hebel weiter geführt und abgeändert werden kann. — Gibt man den beiden Spiralen eine verticale Stellung, befestigt dann den einen Eisenstab an dem einen Ende eines Balanciers und den andern Eisenstab an dem zweiten Ende des Balanciers; so wird derselbe in Bewegung gesetzt, wenn man den galvanischen Strom abwechselnd durch die eine und hierauf durch die zweite Spirale leitet. Durch Pleuelstange und Kurbel läßt sich dann die auf- und niedergehende Bewegung des Balanciers in eine rotirende Bewegung verwandeln. Es kommt nur darauf an, mittelst einer passenden Vorrichtung den elektrischen Strom abwechselnd durch die eine und dann durch die andere Spirale zu leiten. Die eben besprochene Einrichtung hat Aehnlichkeit mit der einer doppelt wirkenden Dampfmaschine, dagegen folgende Art der Einwirkung der einfach wirkenden Dampfmaschine ähnlich ist. — Man befestige ein Hufeisen mit seiner Wölbung an dem einen Arme eines Hebels, dessen anderer Arm die zu hebende Last trägt; alsdann stelle man um jeden der beiden Schenkel des Hufeisens eine Spirale. Läßt man nun einen elektrischen Strom gleichzeitig durch beide Spiralen gehen, so wird jeder Schenkel des Hufeisens in die unter ihm befindliche Spirale hineingezogen, vorausgesetzt, daß die am andern Hebelsarm vorhandene Last eine gewisse Größe nicht überschreitet. Wird hierauf der Strom unterbrochen, so steigt in Folge des Gegengewichtes das Hufeisen aufwärts; worauf es wieder nach unten getrieben wird, wenn der

Strom zum zweiten Male durch die Spiralen fließt, u. s. w. Auch hier kommt es wieder darauf an, das Oeffnen und Schließen der Kette zur rechten Zeit auszuführen, was auf das Hufeisen selbst sich übertragen läßt.

## Zweiter Abschnitt.

# Elektrodynamische Gesetze.

## I. Von den Widerständen des elektrodynamischen Kreises.

### 1. Das Ohm'sche Gesetz. — Bestimmung des Widerstandes des Elektromotors. — Reducirte Länge. — Rheostat.

Die Intensität des elektrischen Stromes oder die Menge der Elektricität, welche in einer bestimmten Zeit irgend einen Querschnitt des Leiters durchfließt, wird offenbar zunehmen mit der Intensität der elektromotorischen Kraft oder mit der Stärke der Kraft, welcher die strömende Elektricität ihren Ursprung verdankt. Dagegen wird jene Intensität sich vermindern mit der Größe des Widerstandes, welchen der Leiter dem galvanischen Strome entgegensetzt. Hiernach ergibt sich, wenn S die Stromstärke, E die elektromotorische Kraft und W den Leitungswiderstand bedeutet, der Ausdruck: $S = \frac{E}{W}$, welcher nach seinem Urheber das Ohm'sche Gesetz heißt. — Der Leitungswiderstand besteht aus zwei wesentlich verschiedenen Theilen, nämlich aus dem Widerstand in der Kette und aus dem Widerstand im Schließungsleiter. Stellt w den Widerstand in der Kette und l den im Schließungsleiter dar, so erhält die Ohm'sche Formel die Gestalt: $S = \frac{E}{w + l}$. — Bildet man eine Batterie aus n solcher einfachen Ketten und schließt sie durch denselben Leiter wie vorhin, so ist die elektromotorische Kraft jetzt nE und der Gesammtwiderstand in allen Elementen nw; mithin die Stromstärke der Batterie $S' = \frac{nE}{nw + l}$. — Denkt man sich die Oberfläche der einfachen Kette n mal größer, so ist der Leitungswiderstand nicht mehr w, sondern $\frac{w}{n}$; dagegen bleibt die elektromotorische Kraft die nämliche, weil sie von der Größe der Elektromotoren unabhängig ist. Wird die Kette wieder mit demselben Leiter geschlossen wie vorhin, so ist die Stromstärke $S'' = \frac{E}{\frac{w}{n} + l} = \frac{nE}{w + nl}$.

Ist l sehr groß im Vergleich zu w und n w, so hat man nahezu:

$$S = \frac{E}{l}; \quad S' = \frac{nE}{l}; \quad S'' = \frac{E}{l}.$$

Bei einem sehr großen Widerstande im Schließungsbogen gewährt die Vergrößerung der Elektromotoren keinen Vortheil; dagegen nimmt die Stromstärke mit der Anzahl der Elemente der Batterie zu. — Ist hingegen l und n l klein gegen w, so hat man annähernd:

$$S = \frac{E}{W}; \quad S' = \frac{E}{W}; \quad S'' = \frac{nE}{W}.$$

Bei einem sehr kleinen Widerstande im Schließungsbogen gibt demnach die zusammengesetzte Kette keinen stärkeren Strom als die einfache Kette; die Vergrößerung der Elektromotoren steigert aber den Effect in gleichem Maße.

Aus der Formel $S' = \frac{nE}{nw + l} = \frac{E}{w + \frac{l}{n}}$ ist ersichtlich, daß der Werth von S' mehr und mehr dem Grenzwerthe $\frac{E}{w}$ sich nähert, je größer die Anzahl der Elemente wird. Der höchste Effect, den man bei einem in den Schließungskreis der Batterie eingeschalteten Widerstande l durch Vermehrung der Elemente erreichen kann, wird also immer kleiner sein als $\frac{E}{w}$, d. h. als der Effect, welchen eine einfache Kette liefert, wenn sie durch einen Leiter, dessen Widerstand außer Acht bleiben darf, z. B. einen sehr kurzen und dicken Draht, geschlossen wird. Wäre also zur Erzielung einer gewissen Wirkung ein Strom erforderlich, dessen Intensität den Betrag $\frac{E}{w}$ übersteigt; so läßt sich dies durch keine Vermehrung der Plattenpaare erreichen. Man muß dann eine Elektricitätsquelle anwenden, in welcher E größer oder w kleiner ist, oder beides zugleich stattfindet. — Bringt man in den Schließungskreis einer Kette, deren elektromotorische Kraft E und der bereits bestehende Widerstand w ist, einen neuen Leiter, welcher den Widerstand l äußert; so nimmt die Stromstärke ab; denn es geht der Ausdruck $S = \frac{E}{w}$ in $S' = \frac{E}{w + l}$ über, oder es verhält sich die Stromstärke im ersten und im zweiten Falle wie $1 : \frac{l}{w} + 1$. Je größer mithin der Widerstand ist, den ein Strom bereits überwunden hat, desto weniger wird er durch Einschaltung eines neuen Leiters geschwächt; dagegen erleidet er eine erhebliche Schwächung, sobald der eingeschaltete Leiter einen beträchtlichen Widerstand darbietet.

Um das Ohm'sche Gesetz oder die Formel $S = \frac{E}{w + l}$ auf experimentellem Wege zu prüfen, schalte man in den Schließungskreis einer ein-

fachen Kette nach und nach eine Tangentenbussole nebst verschiedenen Längen eines gleichförmigen Drahtes ein. Es seien l, l′, l″ die successiven Werthe des Schließungsbogens, wofür die entsprechenden Drahtlängen l, l′, l″ gesetzt werden können; ferner s, s′, s″ die zugehörigen Stromstärken oder Tangenten der beobachteten Ablenkungswinkel. Wir haben alsdann nachstehende Relationen:

$$\frac{E}{w+l} = s; \quad \frac{E}{w+l'} = s'; \quad \frac{E}{w+l''} = s'',$$

wo w die Länge eines Drahtes von derselben Beschaffenheit wie der eingeschaltete bezeichnet, dessen Leitungswiderstand dem der Elektricitätsquelle sammt dem der Tangentenbussole gleichkommt. — Aus den obigen Relationen ergibt sich, da E und w unveränderlich sind, die Gleichung:

$$\frac{s''l''-sl}{s-s''} = \frac{s'l'-sl}{s-s'}.$$

Die Versuche bestätigen dieselbe aufs Vollständigste, woraus folgt, daß die Formel $S = \frac{E}{w+l}$ den wahren Ausdruck für die Intensität einer einfachen Kette darstellt, welche durch einen Leiter von der Länge l geschlossen ist. — Aus den beiden Relationen $\frac{E}{w+l} = s$ und $\frac{E}{w+l'} = s'$ entspringt die Relation: $w = \frac{s'l'-sl}{s-s'}$. In derselben sind alle Größen auf der rechten Seite als bekannt anzusehen, folglich ist es auch der Werth des Widerstandes des Elektromotors.

Eine Versuchsreihe der Art, bei welcher ein einziges Zinkeisenelement als Elektromotor diente, lieferte folgende Resultate, wo w die noch unbekannte Länge des Drahtes von derselben Beschaffenheit wie der eingeschaltete Draht bezeichnet, welcher den nämlichen Widerstand wie der Elektromotor nebst der Tangentenbussole darbietet.

| Länge der Kette. | Beobachtete Ablenkung. | Tangente des Ablenkungswinkels. |
|---|---|---|
| w | 65° 25 | 2,47267 |
| w + 6,85 Centim. | 60° | 1,73205 |
| w + 81,9 „ | 50° | 1,19175 |
| w + 186,24 „ | 40° | 0,83910 |
| w + 325,35 „ | 30° | 0,57735 |
| w + 623,01 „ | 20° | 0,36307 |

Die daraus berechneten Werthe von w sind sehr nahe einander gleich; man findet als Mittelwerth w = 157 Centimeter: d. h. der Widerstand des angewandten Elektromotors sammt dem der Tangentenbussole ist gleich dem Widerstande eines 157 Centimeter langen Neusilberdrahtes von 1,68 Millimeter Dicke, welcher hier im Schließungsbogen eingeschaltet ward.

Will man den Widerstand der Tangentenbussole für sich bestimmen, so schaltet man mit der Tangentenbussole einen Draht von der Länge l ein, bis der Strom der einfachen Kette die Ablenkung von 45° liefert. Man hat, wenn g den Widerstand der Tangentenbussole und w den der Kette allein bezeichnet, die Gleichung: $1 = \frac{E}{w + g + l}$. Hierauf nimmt man ein zweites gleiches Element, verbindet es mit dem ersten zu einer zusammengesetzten Kette und schaltet einen Draht von der Länge $l + l'$ ein, bis die Ablenkung wieder 45° beträgt. Es ist alsdann $1 = \frac{2E}{2w + g + l + l'}$. Aus beiden Gleichungen entspringt $g = l' - l$. — Man wird aber selten zwei vollkommen gleiche Elemente zur Hand haben. In solchem Falle bestimmt man den Widerstand jedes Elementes sammt dem der Tangentenbussole nach der oben angegebenen Methode, alsdann verbindet man die zwei Elemente zu einer Kette und beobachtet die durch den Strom bewirkte Ablenkung. Sind w, w' jene zwei bekannte Widerstände, g wieder jener der Tangentenbussole für sich allein, ferner E und E' die elektromotorischen Kräfte der Elemente; so hat man, wenn S die Stromstärke der Kette darstellt, die Relation: $S = \frac{E + E'}{w + w' - g}$ oder $S = \frac{ws + w's'}{w + w' - g}$, wo s und s' die beobachteten Stromstärken bezeichnen, welche sich für die einzelnen Elemente bei keiner weiteren Einschaltung ergaben. In der letzteren Gleichung wären demnach alle Größen bis auf g bekannt, die hieraus bestimmt werden kann. Folgende Tabelle enthält die Resultate einer zu diesem Behufe mit zwei Zinkeisenelementen ausgeführten Versuchsreihe.

| | Länge des eingeschalteten Drahtes. | Beobachtete Ablenkung. | Tangente der Ablenkung. | Mittelwerth des Widerstandes des Elementes. |
|---|---|---|---|---|
| Erstes Element. | 0 Cent. | 66° | 2,24604 | |
| | 0,94.77,28 „ | 54° | 1,37638 | w = 1,502.77,28 C. |
| | 1,94.77,28 „ | 44° | 0,9659 | |
| Zweites Element. | 0 Cent. | 58°,5 | 1,63185 | |
| | 1,11.77,28 „ | 48° | 1,11061 | w' = 2,377.77,28 C. |
| | 1,94.77,28 „ | 42° | 0,90040 | |
| Beide Elemente verbunden. | 0 Cent. | 64° | 2,05030 | Daraus |
| | 1.77,28 „ | 58° | 1,60033 | g = 0,39.77,28 = 30,14 Centimeter des eingeschalteten Neusilberdrahtes. |
| | 2.77,28 „ | 52° | 1,27994 | |

Folglich der Widerstand des ersten Elementes $w - g = 85{,}94$ Centimeter und der des zweiten $w' - g = 154{,}55$ Centimeter in Länge des eingeschalteten Neusilberdrahtes.

Werden n verschiedene Elemente zu einer Säule verbunden, so hat der elektrische Strom jedes Elementes nicht nur die Länge seines Schließungskreises und die der Tangentenbussole, sondern auch alle übrigen Ele-

mente zu durchlaufen, was eine Schwächung jedes einzelnen Stromes bewirkt. Bezeichnet mithin E die elektromotorische Kraft für das erste Paar, w den Widerstand für das erste Paar sammt Tangentenbussole; E′ die elektromotorische Kraft und w′ den Widerstand für das zweite Paar sammt Tangentenbussole; so ergeben sich für die Stromstärken der einzelnen Paare nachstehende Ausdrücke:

$$\frac{E}{w+w' \ldots - (n-1)\,g + l};\quad \frac{E'}{w+w' \ldots - (n-1)\,g + l}\ \text{u. s. w.}$$

Die Intensität S des Stromes, welcher durch das Zusammenwirken aller partiellen Ströme entsteht, wird daher durch die Formel

$$S = \frac{E + E' + E'' \ldots}{w + w' + w'' \ldots - (n-1)\,g + l}$$

dargestellt; d. h. in allen Fällen ist die Intensität des Stromes gleich der Summe aller partiellen elektromotorischen Kräfte dividirt durch die Summe der Widerstände des ganzen Schließungskreises. — Sind nun s, s′, s″ .... die den einzelnen Elementen zugehörigen Stromstärken, welche bei keiner weiteren Einschaltung von Drahtlängen in den Schließungskreis sich ergeben haben; so ist $E = ws$, $E' = w's'$, $E'' = w''s'' \ldots$, wodurch vorstehende Formel in folgende übergeht:

$$S = \frac{ws + w's' + w''s'' \ldots}{w + w' + w'' \ldots - (n-1)\,g + l}.$$

Eine mit einer Säule von vier Zinkeisenelementen angestellte Versuchsreihe gab die in folgender Tafel enthaltenen Resultate, deren Uebereinstimmung mit den Ergebnissen der Rechnung keinen Zweifel mehr über die Richtigkeit der Formel

$$S = \frac{E + E' + E'' \ldots}{w + w' \ldots - (n-1)\,g + l}\ \text{oder}\ S = \frac{ws + w's' + w''s'' \ldots}{w + w' \ldots - (n-1)\,g + l}$$

läßt.

| | Hinzugefügte Drahtlänge. | Ablenkung α. | Tangente α. | Mittelwerth des Widerstandes. |
|---|---|---|---|---|
| Erstes Element. | 0 Cent. | 56° | 1,48266 | w = 2,905.77,28 |
| | 1,23.77,28 „ | 46° | 1,03553 | |
| | 2,10.77,28 „ | 40° | 0,83910 | |
| Zweites Element. | 0 Cent. | 63° | 1,96261 | w′ = 1,48.77,28 |
| | 0,98.77,28 „ | 50° | 1,19175 | |
| | 1,96.77,28 „ | 40° | 0,83910 | |
| Drittes Element. | 0 Cent. | 66° | 2,24604 | w″ = 1,502.77,28 |
| | 0,94.77,28 „ | 54° | 1,37638 | |
| | 1,94.77,28 „ | 44° | 0,96569 | |
| Viertes Element. | 0 Cent. | 58°,5 | 1,63185 | w‴ = 2,37.77,28 |
| | 1,11.77,28 „ | 48° | 1,11061 | |
| | 1,94.77,28 „ | 42° | 0,90040 | |

| | Hinzugefügte Drahtlänge. | Ablenkung $\alpha$. | Tangente $\alpha$. | Berechnete Ablenkung. |
|---|---|---|---|---|
| Zweites, drittes und viertes Element verbunden. | 0 Cent. | 66° | 2,24604 | 65° 42′ |
| | 1,27.77,28 „ | 60° | 1,73205 | 60° |
| | 2,2.77,28 „ | 56° | 1,48256 | 56° 15′ |
| Erstes, zweites, drittes u. viertes Element verbunden. | 0,3.77,28 Cent. | 67° | 2,47509 | 66° 11′ |
| | 1,22.77,28 „ | 63° | 2,05030 | 62° |
| | 2,33.77,28 „ | 59° | 1,73205 | 57° 19′. |

Wählt man m mal größere Platten, so bleibt die elektromotorische Kraft E unverändert, dagegen wird der Widerstand in jedem Element m mal kleiner. Hiernach wird die Stromstärke:

$$S' = \frac{nE}{\frac{nw}{m} + l} = \frac{mnE}{nw + ml}.$$

Diese Formel drückt die relative Stromstärke einer Kette aus, deren Elemente m mal größer sind als die Elemente, welche die Stromstärke: $S = \frac{nE}{nw + l}$ erzeugen. — Läßt man durch den Schließungskreis zwei Ströme in entgegengesetzter Richtung gehen, deren einem die elektromotorische Kraft E, dem andern die elektromotorische Kraft E′ entspricht; so hat die resultirende Stromstärke S die beiden Elementarströme zum Ausdrucke: $S = \frac{E - E'}{W}$, wo W die Summe aller partiellen Widerstände bezeichnet. Die Intensität des resultirenden Stromes ist mithin gleich dem Quotienten aus der Differenz der elektromotorischen Kräfte, dividirt durch den Totalwiderstand des Kreises, d. h. durch die Summe der Widerstände der Elektromotoren und der angewendeten Leiter.

Die Leitungswiderstände bei verschieden langen Drähten von demselben Metalle und von einerlei Querschnitt verhalten sich direct wie ihre Längen. Der Leitungswiderstand ändert sich aber auch mit dem Querschnitte und zwar ist er unter sonst gleichen Umständen dem Querschnitt umgekehrt proportional. Bezeichnen wir daher den specifischen Leitungswiderstand eines Metalldrahts mit k, d. i. den Widerstand, den ein Metalldraht von einem Meter Länge und für den Querschnitt = 1 äußert; so haben wir für den absoluten Widerstand w, welchen ein derartiger Draht auf die Länge l und den Querschnitt q leistet, den Ausdruck: $w = \frac{kl}{q}$. — Für einen andern Metalldraht besteht in ähnlicher Weise der Ausdruck: $w' = \frac{k'l'}{q'}$, worin k′ einen von k verschiedenen Werth hat, wenn die materielle Beschaffenheit des Metalles eine andere ist. Sollen jene beiden Drähte sich als sogenannte äquivalente Stromleiter bewähren, d. h. als

Leiter, welche denselben Leitungswiderstand äußern und in einem Stromkreise einander ersetzen können; so muß $\frac{k\,l}{q} = \frac{k'\,l'}{q'}$ sein, woraus $l' = \frac{k\,l}{q} \cdot \frac{q'}{k'}$. Nach dieser Formel läßt sich die Länge eines Drahtes von dem Querschnitte q' und dem specifischen Leitungswiderstande k' berechnen, welcher den nämlichen Widerstand äußert wie ein Draht von der Länge l, dem Querschnitt q und dem specifischen Leitungswiderstande k. — Wird für irgend ein Metall, z. B. Kupfer, k' = 1 gesetzt und auch q' = 1 angenommen; so erhält man $l' = \frac{k\,l}{q} = w$. Diese Größe heißt die **reducirte Länge** des Drahtes von der Länge l, dem Querschnitte q und dem specifischen Leitungswiderstande k, und zeigt die Länge des diesem Drahte äquivalenten Drahtes an, dessen Querschnitt = 1 und dessen Leitungswiderstand = 1 ist. — Der Widerstand und die reducirte Länge haben einerlei Zahlenwerth und sind nur verschiedene Ausdrücke für eine und dieselbe Größe.

Aus der Gleichung $\frac{k\,l}{q} = \frac{k\,l'}{q'}$ folgt, daß zwei Drähte aus demselben Metall gleichen Widerstand äußern, wenn sich ihre Längen wie ihre Querschnitte verhalten. Als Beleg für die Richtigkeit dieser Aussage mag nachstehender specieller Versuch dienen. Bei einer Einschaltung eines Kupferdrahtes von 4,3 Meter Länge und 0,673 Millim. Durchmesser ging die Nadel der Tangentenbussole von 52° auf 40° zurück. Hierauf wurde der Draht entfernt und die Kette wieder geschlossen, wodurch die Nadel auf ihre ursprüngliche Stelle von 52° zurückkehrte. Um sie wieder auf 40° zurückzuführen, mußte man einen 2,72.77,28 Centimeter langen Neusilberdraht einschalten. Derselbe Versuch wurde mit einem gleichlangen Kupferdraht wiederholt, dessen Durchmesser 1,163 Millimeter betrug; man fand, daß dieser dickere Kupferdraht einen eben so großen Widerstand ausübt, wie ein 0,9.77,28 Centimeter langer Neusilberdraht. Das Verhältniß der Widerstände ist daher $\frac{2{,}72}{0{,}9} = 3{,}02$, welches nahezu mit dem umgekehrten Verhältniß $\frac{1}{2{,}99}$ der Querschnitte übereinstimmt.

Mit Hülfe der oben entwickelten Sätze ist es nun leicht, zu einem allgemeinen Ausdrucke für den Totalwiderstand des ganzen Schließungsbogens oder den partiellen Widerstand eines beliebigen Theiles desselben zu gelangen. Bezeichnet nämlich k den specifischen Leitungswiderstand, l die Länge und q den Querschnitt eines bestimmten Theiles des Schließungskreises; so ist der partielle Widerstand w desselben in Widerstandseinheiten ausgedrückt $= \frac{k\,l}{q}$. Auf ähnliche Weise lassen sich die partiellen Widerstände w', w'' .... der übrigen Theile des Schließungsbogens be-

stimmen. Für den Totalwiderstand W des ganzen Schließungskreises ergibt sich hiernach der Ausdruck: $W = \frac{k\,l}{q} + \frac{k'\,l'}{q'} + \dots$ Derselbe Zahlenwerth ergibt sich für die reducirte Länge des Schließungsbogens. — Sind in dem früheren zur Bestimmung des Widerstandes w des Elektromotors angegebenen Ausdrucke: $w = \frac{s'\,l' - s\,l}{s - s'}$ die Größen $l'$ und l auf die entsprechenden reducirten Längen zurückgeführt, so gibt derselbe ebenfalls die reducirte Länge des Elektromotors.

Der reciproke Werth $\frac{1}{k}$ des Leitungswiderstandes k heißt, wie zu seiner Zeit gelegentlich schon bemerkt worden, Leitungsfähigkeit. Die Leitungsfähigkeit eines Körpers ist also der Länge desselben umgekehrt, seinem Querschnitt aber direct proportional. — Die Größe k ändert sich mit der Beschaffenheit des Metalls, wie beispielsweise folgender speciell ausgeführter Versuch zeigt. Die Tangentenbussole gab einen Ausschlag von 56°. Nun wurde der Reihe nach eingeschaltet ein Kupfer- und ein Eisendraht. Beide waren 1,31 Meter lang und 0,727 Millimeter dick. Die Nadel ging zurück beim Kupferdraht auf 51°, beim Eisendraht auf 32°. Hierauf wurde die Kette ohne Einschaltung von Drähten geschlossen: um die Nadel von 56° auf 51° zu bringen, war ein Neusilberdraht von 0,9.77,28 Cent. Länge nöthig; eine Länge von 6,43.77,28 Cent. eines solchen Drahtes, um die Nadel auf 32° zu führen. Aus diesen Messungen ergibt sich für den specifischen Leitungswiderstand des Eisens im Vergleich zum Kupfer der Werth $\frac{6{,}43}{0{,}9} = 7{,}14$.

Die Untersuchungen über die Gesetze des Leitungswiderstandes werden mit Hülfe des unter dem Namen Rheostaten bekannten Apparates sehr erleichtert; sie haben zum Zweck, nach Belieben Längen desselben Drahtes in den Schließungskreis einzuschalten, ohne die Kette zu öffnen. — Ein bequemer Apparat dieser Art besteht aus zwei Cylindern von gleicher Höhe und gleichem Durchmesser, welche sich beide um ihre parallele Achsen drehen lassen. Der eine Cylinder ist von Mahagoniholz, und ist an dem einen Ende mit einem Metallringe umgeben; der andere Cylinder ist ganz von Messing. Auf dem Holzcylinder ist ein Schraubengang eingeschnitten, um einen Metalldraht aufzunehmen. Dieser wird mit dem einen Ende an den Metallring befestigt, während das andere Ende an dem hinteren Theile des Messingrings festgemacht ist. Mittelst einer Kurbel läßt sich nun jener Metalldraht je nach dem Sinne der Drehung bald von dem Holzcylinder auf den Metallcylinder, bald von dem letzteren auf den ersteren aufwickeln. Da die Windungen auf dem Holzcylinder isolirt sind, so durchläuft die Elektricität auf diesem Cylinder den Draht seiner ganzen

Länge nach; dagegen setzt sie auf dem Messingcylinder, dessen Widerstand wegen der beträchtlichen Größe des Querschnitts vernachlässigt werden kann, ihren Weg ungehindert fort. Den Widerstand des Rheostaten bildet daher das auf dem Holzcylinder gewundene Drahtstück. — Die Zahl der auf dem Holzcylinder liegenden Windungen erkennt man an einer zwischen den beiden Cylindern angebrachten Scala und die Bruchtheile einer Windung mittelst eines Zeigers, welcher an der Achse eines Cylinders befestigt ist. — Will man Versuche mit einem derartigen Apparate anstellen, so verbindet man eine Tangentenbussole einerseits mit dem negativen Pole eines constanten Elektromotors und anderseits mit dem Messingcylinder; ferner den positiven Pol des Elektromotors mit dem Metallringe des Holzcylinders. Der Totalstand des Schließungskreises besteht so aus zwei Theilen, einem unveränderlichen und einem veränderlichen. Der erstere ist gleich der Summe der Widerstände des Elektromotors, der Tangentenbussole und der sonstigen außerhalb des Rheostaten liegenden Verbindungsdrähte; der zweite Theil besteht in dem Widerstande des um den Holzcylinder gewundenen Drahtstückes.

Um noch größere Widerstände einzuschalten, bedient man sich sogenannter Widerstandsrollen, nämlich trockener Holzcylinder, in welche Schraubengänge von geringer Tiefe zur Aufnahme feiner Drähte eingeschnitten sind. Durch Einschalten dergleichen Rollen lassen sich bedeutende Aenderungen des Leitungswiderstandes bewerkstelligen, so daß man durch Verbindung derselben mit dem Rheostaten einen Widerstand von $^1/_{10}$ bis 12000 Windungen und noch mehr hervorbringen kann. — Eine andere Art von Rheostat besteht aus einer Walze, in welche eine Schraubenlinie eingeschnitten ist, um einen Metalldraht aufzunehmen. Durch das eine Ende des Drahtes wird der Strom eingeführt und indem man den Draht mit einer auf einem Metallstab verschiebbaren starken Feder an einer nahen oder entfernten Stelle berührt, gelangt der Strom auf kürzerem oder längerem Wege zu dem andern Pol der Kette.

## 2. Widerstand der festen und flüssigen Leiter.

Um den specifischen Leitungswiderstand der Metalle zu bestimmen, schaltet man verschiedene Drähte von einerlei Länge und einerlei Dicke nach einander in den Schließungskreis ein und beobachtet bei jedem die entsprechende Ablenkung mittelst der Tangentenbussole. Hierauf ermittelt man mit Hülfe des Rheostats die Zahl der Windungen, welche den einzelnen früher eingeschalteten Drähten äquivalent sind. Das Verhältniß dieser Zahlen gibt das Verhältniß der specifischen Leitungswiderstände der angewendeten Drähte. Hätte man z. B. bei einem Kupferdraht 4 Windungen und bei einem gleich langen und gleich dicken Eisendraht 28 Win-

bungen gefunden, so würden sich die specifischen Leitungswiderstände dieser Drähte wie 4 : 28 oder wie 1 : 7 verhalten. — Da der reciproke Werth des specifischen Leitungswiderstandes die Leitungsfähigkeit gibt, so ist hiernach, wenn die Leitungsfähigkeit des Kupfers = 100 gesetzt wird, die des Eisens = 14,28.

Nachstehende Tabelle gibt die Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle, die des reinen Kupfers als 100 angenommen:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Silber | 136 | Eisen | 17 |
| Kupfer | 100 | Platin | 15 |
| Gold | 79 | Blei | 14 |
| Zinn | 30 | Nickel | 13 |
| Messing | 29 | Neusilber | 9 |
| Zink | 28 | Quecksilber | 3. |

Diese Resultate weichen nicht sehr bedeutend ab von denjenigen, welche Rieß für die Leitung des Entladungsschlages bei den verschiedenen Metallen erhalten hat. Zusatz fremder Metalle vermindert die Leitungsfähigkeit: so z. B. sinkt für eisenhaltiges Kupfer dessen Leitungsfähigkeit auf 78 herab. — Daraus erklärt sich auch, warum verschiedene Beobachter für dasselbe Metall ungleiches Leitungsvermögen erhalten haben.

Durch Erhöhung der Temperatur wird die Leitungsfähigkeit der Metalle vermindert, oder was dasselbe ist, der Leitungswiderstand erhöht. Lenz hat die Leitungsfähigkeit mehrerer Metalle bei verschiedenen Temperaturen bestimmt, indem er sie als Drähte auf eine Glasröhre spiralförmig aufwickelte, im Oelbade nach und nach immer stärker erhitzte. — Aus seinen zahlreichen Beobachtungen hat Lenz für die den Temperaturen t zugehörige Leitungsfähigkeit $\gamma$ folgende Formel abgeleitet:

$$\gamma = a - b\,t + c\,t^2,$$

in welcher die Constanten a, b und c mit der Beschaffenheit des Metalls sich ändern.

Für Silber ist: $\gamma = 136{,}25 - 0{,}4984\,t + 0{,}0008\,t^2$;
für Kupfer ist: $\gamma = 100 - 0{,}3137\,t + 0{,}0004\,t^2$;
für Gold ist: $\gamma = 79{,}79 - 0{,}1703\,t + 0{,}0002\,t^2$;
für Zinn ist: $\gamma = 30{,}84 - 0{,}1277\,t + 0{,}0005\,t^2$;
für Messing ist: $\gamma = 29{,}23 - 0{,}0517\,t + 0{,}0006\,t^2$;
für Eisen ist: $\gamma = 17{,}74 - 0{,}0837\,t + 0{,}0002\,t^2$;
für Blei ist: $\gamma = 14{,}62 - 0{,}0608\,t + 0{,}0001\,t^2$;
für Platin ist: $\gamma = 14{,}16 - 0{,}0389\,t + 0{,}0001\,t^2$.

Ein ähnliches Verhalten zeigen die Metalle der Alkalien und alkalischen Erden. Dagegen besitzt geschmolzenes Wismuth einen geringeren Leitungswiderstand als festes: der krystallinische Zustand der letzteren ist aller Wahrscheinlichkeit nach Schuld daran, indem derselbe von einer geänderten

Richtung der Bestandtheile begleitet sein kann, welche ein stärkeres Hervortreten der elektrischen Gegensätze zur Folge hat. Aehnliches zeigt sich bei dem Wasser, welches im festen Zustande sich als ein sehr schlechter Leiter für den elektrischen Strom bewährt.

Von einem derartigen durch Temperaturerhöhung veranlaßten Polarisationszustand mag es auch herrühren, daß manche zusammengesetzte Körper, wie z. B. Glas, durch Erwärmung aus dem Zustande des schlechten Leiters in den eines besseren Leiters übergehen. Denn eine solche Veränderung läßt sich nicht blos auf eine theilweise chemische Zersetzung zurückführen, da durch genaue Untersuchungen sich herausgestellt hat, daß Quecksilberjodid und Schwefelsilber bei zunehmender Temperatur leitend wurden, aber keine Spur von Zersetzung zeigten. — Der Widerstand des Glases nimmt bei zunehmender Erhitzung, wie Buff gefunden, in folgenden Verhältnissen ab:

| Temperatur des erhitzten Glases. | Relativer Leitungswiderstand. |
|---|---|
| 200° | 2582 |
| 250° | 158 |
| 300° | 16 |
| 400° | 8. |

Um den Leitungswiderstand der Flüssigkeiten unabhängig von der galvanischen Polarisation, d. h. von dem durch sie erzeugten secundären elektrischen Strom, zu ermitteln, verfährt man nach Wheatstone wie folgt. In einem wohlgefirnißten Trog von trockenem Holze, welcher die Flüssigkeit enthält, deren Leitungswiderstand man erfahren will, werden zwei Platinplatten eingetaucht, welche fast den ganzen Querschnitt des Troges ausfüllen und mit den Polardrähten der Säule in Verbindung stehen. Außer diesem Apparat wird noch eine Tangentenbussole sammt Rheostat in den Schließungskreis eingeschaltet. — Bringt man nun die Platinplatten in x Centimeter Entfernung von einander und dreht dann den Rheostat so, bis die Ablenkung der Magnetnadel eine bestimmte Größe beträgt, so hat man, wenn in diesem Falle die Stromstärke S heißt, der Leitungswiderstand des Rheostats l, jener der Flüssigkeit bei der Länge x ebenfalls x, der übrige Widerstand w, die elektromotorische Kraft der Stromquelle E und die Polarisation P, folgende Relation: $S = \frac{E - P}{w + l + x}$. — Stellt man die Platinplatten auf die größere Entfernung x′ zu einander, so muß man, wenn die Nadel wieder auf den früheren Punkt zeigen soll, den Widerstand der Kette mittelst des Rheostats vermindern, um dadurch die Vergrößerung auszugleichen, welche der Leitungswiderstand der Flüssigkeiten durch Entfernung der Platinplatten erfahren hat. Ist jetzt l′ der

Widerstand des Rheostats, so hat man: $S = \frac{E - P}{w + l' + x'}$. Mithin $\frac{E - P}{w + l' + x'} = \frac{E - P}{w + l + x'}$, woraus $x' - x = l - l'$. — Auf diese Weise hat man gefunden, daß der Leitungswiderstand der Flüssigkeit sich direct wie ihre Länge und umgekehrt wie ihr Querschnitt verhält. — Ein besonderer Versuch dieser Art ist folgender, bei welchem die Kette aus 6 Zinkeisenelementen bestand.

Der Trog wurde mit verdünnter Schwefelsäure von 1,5 specifischem Gewichte gefüllt, die Platten in einem Abstand von 13 Millimeter von einander gestellt und der Totalwiderstand so regulirt, daß die Nadel der Tangentenbussole auf 31° stehen blieb. Hierauf wurde die Flüssigkeit aus dem Schließungskreise genommen und die Länge des Neusilberdrahtes ermittelt, um die Nadel der Tangentenbussole auf 31° Ablenkung zu erhalten. Die Länge dieses Drahtes, dessen Querschnitt 1,9 Quadratmillimeter betrug, belief sich auf $14 \times 77{,}28$ Centimeter, während die Flüssigkeitssäule einen Querschnitt von 700 Quadratmillimeter hatte. Aus den mitgetheilten speciellen Messungen ergibt sich, daß der Leitungswiderstand der verdünnten Schwefelsäure $\frac{700 \,.\, 14 \,.\, 77{,}28}{1{,}9 \,.\, 1{,}3}$ oder 306639 mal größer als der des Neusilberdrahtes, mithin 2759751 mal größer als der des Kupfers ist.

Die specifischen Leitungswiderstände einiger Flüssigkeiten, den specifischen Widerstand des reinen Kupfers = 1 gesetzt, sind folgende:

| | |
|---|---|
| Für gesättigte Lösung von Kupfervitriol . . . . | 16885520; |
| für gesättigte Lösung von Kochsalz . . . . . . | 2903900; |
| für gesättigte Lösung von salpetersaurem Kupferoxyd | 10175000; |
| für gesättigte Lösung von schwefelsaurem Zinkoxyd . | 15861000. |
| Für verdünnte Schwefelsäure . . . . . . . . | 1032000; |
| für gewöhnliche Salpetersäure . . . . . . . . | 976000; |
| für gewöhnliche Salzsäure . . . . . . . . . | 817070; |
| für destillirtes Wasser . . . . . . . . . . | 6754208000. |

Quecksilber nimmt wie die übrigen metallischen Leiter durch Erwärmung an Leitungsfähigkeit ab. Dasselbe findet ebenfalls bei den andern durch Schmelzung flüssig gemachten metallischen Elementen statt. Dagegen nimmt die Leitungsfähigkeit bei Flüssigkeiten mit der Temperatur zu. Die Wärme übt demnach auf Körper von verschiedener chemischer Natur einen ungleichen Einfluß aus: denn während die Metalle durch Erwärmung an Leitungsfähigkeit verlieren, nehmen viele zusammengesetzte Körper durch Erhöhung der Temperatur an Leitungsfähigkeit zu.

## 3. Polarisationswiderstand. — Widerstand des Erdbodens und des menschlichen Körpers.

Der Polarisationswiderstand ist eine elektromotorische Kraft, welche der elektromotorischen Kraft des ursprünglichen Stroms entgegenwirkt. Eine derartige active Kraft muß daher in der Ohm'schen Formel als Gegenkraft eingeführt werden, mithin in dem Zähler als Subtrahend vorkommen: dagegen wird die Schwächung, welche der Strom durch Einschaltung der Flüssigkeit erleidet, einen Summand im Nenner jener Formel mit sich bringen. — Bezeichnet mithin E die elektromotorische Gesammtkraft der Elektricitätsquelle, w deren Leitungswiderstand, l den Widerstand der metallischen Leiter, f die Summe der Leitungswiderstände der im Schließungskreise befindlichen Flüssigkeiten, endlich P die Summe aller Polarisationen; so erhält man für die Stromstärke den Ausdruck: $S = \frac{E - P}{w + l + f}$. — Ist die Flüssigkeit so gewählt, daß jede Ablagerung fremder Substanzen auf den Elektroden und damit jede Polarisation vermieden wird, so verwandelt sich die Formel in folgende: $S = \frac{E}{w + l + f}$. Dies ereignet sich z. B. wenn man in Kupfervitriollösung Kupferplatten als Elektroden gebraucht; die Schwefelsäure und der Sauerstoff verbinden sich an der Anode mit dem Kupfer, welches in Lösung geht, und an der Kathode lagert sich metallisches Kupfer ab.

Der Polarisationswiderstand ändert sich mit der Natur der Elektroden und des Elektrolyten. Je größer die Verwandtschaft der ausgeschiedenen Bestandtheile zu einander ist, um so bedeutender wird sich die elektromotorische Kraft herausstellen. So ist z. B. bei Anwendung von Platinplatten die Polarisation in Schwefelsäure beträchtlicher als in Salpetersäure. Im ersteren Falle lagert sich an der Kathode Wasserstoff, an der Anode Sauerstoff ab, was eine secundäre Kette aus Wasserstoff und Sauerstoff zur Folge hat. Im zweiten Falle wird kein Wasserstoff frei, indem er mit Salpetersäure salpetrige Säure bildet, wodurch eine secundäre Kette aus salpetriger Säure und Sauerstoff entsteht. Der Sauerstoff hat nun eine größere Verwandtschaft zum Wasserstoff als zur salpetrigen Säure, woraus eine stärkere elektromotorische Kraft in der Schwefelsäure als in der Salpetersäure zum Vorschein kommt. — Eisen in verdünnter Schwefelsäure erzeugt eine schwache elektromotorische Kraft der Polarisation, weil vermöge der leichten Lösung des Eisens in Schwefelsäure die Wasserstoffablagerung an der Kathode fast ganz verhindert wird. Dasselbe findet bei amalgamirten Zinkplatten und Kupferplatten in Salpetersäure statt, insofern sie die Metallplatten löst und damit die Gasablagerung sehr erschwert. — Jede Einschaltung eines metallischen Diaphragmas, auf wel-

chem innerhalb eines Elektrolyten heterogene Stoffe zur Ablagerung kommen, schwächt den elektrischen Strom, insofern es zur Entstehung eines dem ursprünglichen entgegengesetzten Stromes Veranlassung gibt. Daraus erklärlich, weßhalb der Strom desto mehr geschwächt wird, je größer die Zahl der Platinplatten ist, welche zwischen den beiden als Elektroden dienenden Platinplatten in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Gefäß getaucht worden sind.

Der Leitungswiderstand des Erdbodens für galvanische Ströme scheint unbedeutend zu sein und dem Widerstande im Drahtleiter gegenüber vernachlässigt werden zu können. Denn ersetzt man, wie zuerst Steinheil gethan, in einer langen Telegraphenleitung den einen der beiden die Stationen verbindenden Metalldrähte durch große mit der Erde in Verbindung stehende Kupferplatten; so steigt die Stromstärke nahezu auf das Doppelte. — Zu demselben Ergebnisse gelangte Jacobi durch Einschaltung mehrerer Voltameter in einer Stromleitung von 2300 Meter Länge, deren einer Theil aus Kupferdraht, der andere aus dem durch mehrere Wasserleitungen unterbrochenen Erdboden bestand. — Dagegen glauben Mateucci und Baumgartner aus ihren Beobachtungen folgern zu dürfen, daß der Widerstand eines dünnen langen Drahtes nicht unendlich groß gegen den der Erde sei. Die von ihnen wahrgenommene Schwächung des Stromes möchte jedoch aller Wahrscheinlichkeit nach eher eine Polarisation, welche die mit dem Erdboden in Verbindung stehenden Platten erlitten haben, als einem eigentlichen Erdwiderstande zuzuschreiben sein.

Der Leitungswiderstand des menschlichen Körpers dürfte dem von 91762 Meter Kupferdraht von 1 Millimeter Durchmesser gleich kommen. Diese Angabe ist jedoch nur als eine Annäherung zu betrachten; gewiß ist es aber, daß jener Leitungswiderstand sehr beträchtlich ist. — Der Widerstand wird um so geringer, je größer die Leitungsfähigkeit ist, welche als Verbindungsglied des Körpers mit der Kette dient. Das Eintauchen in Quecksilber zeigt sich weniger vortheilhaft als in verdünnte Schwefelsäure, wahrscheinlich weil es die Haut nicht benetzt. — Die Größe der eingetauchten Fläche übt einen wesentlichen Einfluß auf den Leitungswiderstand aus; denn beim Eintauchen der ganzen Hände ergibt sich ein merklich geringerer Widerstand als beim Eintauchen der blosen Finger. — Auch scheint der Widerstand, den die Körper jüngerer Personen leisten, größer zu sein, als jener von älteren Personen.

### 4. Betrachtungen einiger galvanischen Vorrichtungen bezüglich ihres Leitungswiderstandes.

Das Ohm'sche Gesetz gestattet uns, den Einfluß zu beurtheilen, welchen ein Multiplicator auf die Intensität des durch ihn geleiteten Stromes

ausübt. Der Multiplicator habe n Windungen, deren jede dem hindurchgehenden Strome den Widerstand l entgegensetzt. Ist dann **E** die elektromotorische Kraft, w der Widerstand der Stromquelle; so ergibt sich, wenn der Multiplicator im Schließungskreise eingeschaltet worden, für die Stromstärke S der Ausdruck: $S = \frac{\mu n E}{w + n l} = \frac{\mu E}{\frac{w}{n} + l}$. — Bei Aufstellung dieses Ausdruckes wurde angenommen, daß die Actionen sämmtlicher Windungen auf die Magnetnadel einander gleich sind; ferner erwogen, daß die Einwirkung des Stromes auf die Nadel der Stromstärke proportional ist: $\mu$ bedeutet einen von der Beschaffenheit des Drahtes und dem Magnetismus abhängenden Factor. — Der aufgestellte Ausdruck lehrt uns, daß die Gesammtwirkung des Multiplicators auf die Nadel um so größer ausfällt, je mehr Drahtverbindungen vorhanden sind; daß aber jene Action immer kleiner als $\frac{\mu E}{l}$ bleibt und zwar dies um so eher, als die von der Nadel entfernteren Windungen offenbar schwächer wirken, als die ihr näher liegenden. — Enthält daher der Bruch $\frac{\mu E}{l}$ nur einen sehr kleinen Werth, so ist die Einwirkung auf die Nadel unmerklich: in solchem Falle muß man den Leitungswiderstand des Multiplicatordrahtes bedeutend vermindern, wenn man einen deutlichern Ausschlag der Nadel zu Stande bringen will. Und in der That gibt öfters ein Galvanometer mit wenigen Windungen dickeren Drahtes einen größeren Effect, als ein Galvanometer mit zahlreichen Windungen feineren Drahtes.

Gehen wir zur Betrachtung eines Elektromagnets über, für welchen bei einem bestimmten Eisenkern einerseits und bei einer bestimmten Zinkoberfläche mit entsprechender Kupferfläche anderseits die Art der Spirale angegeben werden soll, um die stärkste Wirkung zu erhalten. — Die Länge des Eisenkernes sei $= a$, sein Durchmesser $= b$; die Größe der gesammten disponibeln Zink- und Kupferfläche $= f$; der Leitungswiderstand eines Plattenpaares für die Einheit der Oberfläche $= \lambda$; die Dicke des Drahtes $= x$; die Anzahl der Windungsreihen übereinander $= y$; die Anzahl der Plattenpaare $= z$. — Die Länge der ersten Windungsreihe ist hiernach $= \frac{a}{x}(b + x)\pi$; die der zweiten $= \frac{a}{x}(b + 3x)\pi$; die der dritten $= \frac{a}{x}(b + 5x)\pi$; die der yten $= \frac{a}{x}(b + (2y - 1)x)\pi$. Die Länge sämmtlicher Windungen ist daher $= \frac{a\pi}{x}(by + y^2 x)$, deren reducirte Länge $= \frac{a\pi}{x^3}(by + y^2 x)$ ist, wenn der specifische Leitungswiderstand des Drahtes als 1 angenommen wird. — Die Oberfläche eines Plattenpaares

ist $=\frac{f}{z}$; folglich sein Leitungswiderstand $=\frac{\lambda z}{f}$ und der der ganzen Kette $=\frac{\lambda z^2}{f}$. Für die Stromstärke S erwächst hiernach der Ausdruck:

$$S=\frac{zE}{\frac{\lambda z^2}{f}+\frac{a\pi}{x^3}(yb+y^2x)}=\frac{Efzx^3}{\lambda z^2x^3+a\pi f(yb+y^2x)},$$

worin E die elektromotorische Kraft eines Plattenpaares bezeichnet. — Nimmt man nun den Magnetismus, welcher durch eine Windung bei der Stromstärke = 1 erzeugt wird, als Einheit an, so wird der durch die ganze Spirale erregte Magnetismus

$$M=S.y.\frac{a}{x}=\frac{Efax^2yz}{\lambda z^2x^3+a\pi f(yb+y^2x)}$$

sein, wenn solcher der Anzahl der Windungen proportional ist. — Sollen nun sämmtliche Windungen die Dicke c haben, so wird $y=\frac{c}{x}$ und es entsteht: $M=\frac{Efcazx^2}{\lambda z^2x^4+a\pi fc(b+c)}$. — Die Bedingung, daß M zu einem Maximum werde, liefert die Gleichung: $a\pi fc(b+c)=z^2x^4\lambda$, mittelst deren der Ausdruck von M sich in folgenden verwandelt: $M=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{afcE}{\lambda\pi(b+c)}}$. Es läßt sich also durch dicke wie durch dünne Drähte dasselbe Maximum erreichen, insofern nur der Bedingungsgleichung $a\pi fc(b+c)=z^2x^4\lambda$ Genüge geschieht. — Aus der Gleichung $M=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{afcE}{\lambda\pi(b+c)}}$ ergibt sich, daß einer bestimmten Metallfläche ein Maximum des Magnetismus entspricht; daß ferner durch Vergrößerung der Dicke der Umwickelung der Magnetismus nicht über die Grenze $\frac{1}{2}\sqrt{\frac{afE}{\lambda\pi}}$ hinausgetrieben werden kann.

Wir schreiten jetzt zur Betrachtung des Totalwiderstandes eines verzweigten Stromleiters, indem wir denselben vorerst an einer Stelle sich in zwei Aeste und an einer andern Stelle sich wieder in einen einzigen vereinigen lassen. Um den Totalwiderstand l zu bestimmen, welchen der Strom auf seinem Wege zwischen jenen beiden Stellen zu überwinden hat, sei l′ der Leitungswiderstand des einen, l″ der des zweiten Astes; mithin die Leitungsfähigkeit des ersten Astes $\gamma'=\frac{1}{l'}$ und die des zweiten $\gamma''=\frac{1}{l''}$. Offenbar gelten diese beiden Aeste zusammen in Bezug auf Stromleitung ebensoviel wie ein einziger Ast von demselben Material, welcher die durch die Relation $\gamma=\gamma'+\gamma''=\frac{1}{l'}+\frac{1}{l''}=\frac{l'+l''}{l'l''}$ bestimmte Leitungsfähigkeit $\gamma$ besitzt. Für den Totalwiderstand l der beiden Aeste ergibt sich hiernach der Ausdruck: $l=\frac{1}{\gamma}=\frac{l'l''}{l'+l''}$. — Stellen l′ und l″ die redu-

cirten Längen der einzelnen Aeste dar, so besteht für die reducirte Länge l des Theils der Leitung, welcher durch jene Aeste zusammengenommen gebildet wird, die nämliche Gleichung: $l = \frac{l' l''}{l' + l''}$.

Spaltet sich ein Stromleiter an einer Stelle in n sich wieder vereinigende Aeste, deren einzelne Widerstände $l', l'', l''', \ldots l^{(n)}$ sind; so ergibt sich durch eine der vorhergehenden analoge Verfahrungsweise für den Totalwiderstand l der n Leiter, welche den elektrischen Strom im Schließungsbogen in n Seitenströme theilen, folgender Ausdruck:

$$l = \frac{l' l'' l''' \ldots\ldots l^{(n)}}{l' l'' \ldots l^{(n-1)} + l' l'' \ldots l^{(n-2)} l^{(n)} - \ldots\ldots + l'' l''' \ldots l^{(n)}}.$$

Dieselbe Formel gibt ebenfalls den Werth der reducirten Länge solcher n zwischen zwei Punkten des elektrodynamischen Kreises zusammen eingeschalteter Zweige, deren einzelne reducirte Längen $l', l'', l''' \ldots l^{(n)}$ sind.

## II. Von der Stromstärke und den elektromotorischen Kräften.

### 1. Größte Wirkung einer galvanischen Batterie bei gegebenem Materiale.

Mit einer bestimmten Quantität von Zink und Kupfer oder irgend welchem andern Material, das zu einer Kette verwendet werden soll, wird die größte Stromstärke erreicht, wenn man es so einrichtet, daß der Widerstand in der Kette dem außerhalb derselben gleich kommt. Es sei l der Widerstand des Schließungsbogens, E die elektromotorische Kraft, w der Widerstand in der Kette, wenn man aus dem vorhandenen Material blos ein einziges Element gebildet hätte; mithin nw der Widerstand eines Elementes und $n^2 w$ der Widerstand in der Batterie, wenn man n Elemente daraus gebildet hat. Für die Stromstärke S ergibt sich alsdann der Ausdruck:

$$S = \frac{nE}{n^2 w + l} = \frac{E}{nw + \frac{l}{n}}.$$

Diese Größe erhält für denjenigen Werth von n seinen größten Werth, für welchen der Nenner $nw + \frac{l}{n}$ am kleinsten ausfällt. Dies tritt ein, wenn $n^2 w = l$ ist, d. h. die Stromstärke S wird ein Maximum, wenn der Widerstand in der Batterie gleich dem außerhalb derselben ist.

Daß der Nenner aber ein Minimum wird für $n^2 = \frac{l}{w}$ läßt sich folgendermaßen nachweisen. Setzt man nämlich $n + h$ an die Stelle von n, wobei h positiv oder negativ ist, je nachdem n größer oder kleiner wird;

so geht der Werth des Nenners $n w + \frac{l}{n}$ in folgenden $(n+h) w + \frac{l}{n+h}$ über. Hat man nun $n$ so gewählt, daß $n w + \frac{l}{n}$ ein Minimum wird, so muß $(n+h) w + \frac{l}{n+h}$ jedenfalls größer sein als dieser kleinste Werth, mithin eine positive Differenz sich ergeben, wenn man den kleineren Werth von dem größern abzieht. Nun ist aber

$$(n+h) w + \frac{l}{n+h} - \left(n w + \frac{l}{n}\right) = h \left(w - \frac{l}{n^2 + n h}\right),$$

welche letztere Größe für ein hinlänglich kleines $h$ positiv bleibt, wie es der Charakter des Minimums erheischt, wenn man $w = \frac{l}{n^2}$ annimmt.

Die größtmögliche Stromstärke wird in Folge der Relation $n^2 w = l$ durch den Ausdruck: $S = \frac{nE}{2l} = \frac{E}{2\sqrt{wl}}$ dargestellt. Die Einrichtung der Kette, mittelst welcher das Maximum des Stromeffects erreicht werden soll, hängt also von dem Widerstande des Schließungsbogens ab. Ist dieser sehr bedeutend, wie es gewöhnlich bei elektrolytischen und physiologischen Wirkungen der Fall ist; so wird man zu einer großen Anzahl von Platten seine Zuflucht nehmen. — Ist aber der Widerstand des Schließungsbogens nur ein kleiner Theil von dem Gesammtwiderstande in der Kette, wie es bei magnetischen und thermischen sich ereignet; so wird man nur wenige großplattige Elemente gebrauchen. — In der Praxis wird sich der Bedingungsgleichung $n^2 w = l$ in den seltensten Fällen vollkommen Genüge leisten lassen; weßhalb das theoretische Maximum nur ausnahmsweise erreicht werden kann. Immerhin wird man aber das vorhandene Material in so viele Elemente zerlegen, als die ganze Zahl, welche dem Werthe $\sqrt{\frac{l}{w}}$ am nächsten liegt, Einheiten hat.

Es möge nun die Richtigkeit des oben aufgestellten Satzes durch einen speciellen Fall nachgewiesen werden. — Vier einfache Zinkeisenelemente zu einer Säule von vier einzelnen Elementen verbunden bewirkten an der Tangentenbussole eine Ablenkung von 52,5°; bei Einschaltung eines 1.77,28 Centimeter langen Neusilberdrahtes ergab sich eine Ablenkung von 50° und eine von 48° bei Einschaltung einer Länge von 2.77,28 Centimeter desselben Drahtes: daraus entspringt für den Widerstand der Säule sammt Tangentenbussole ein Leitungswiderstand von 10,7.77,28 Centimeter Länge des eingeschalteten Neusilberdrahtes. Bei Einschaltung eines dem eben gefundenen Widerstande äquivalenten Widerstandes wich die Nadel um 32° ab. — Hierauf wurden dieselben Elemente zu einem einzigen großflächigen Elemente verbunden; die Ablenkung der Nadel betrug bei Einschaltung des 10,7.77,28 Centimeter langen Neusilberdrahtes nur 16°; dagegen stieg sie

auf 26° bei Einschaltung der nämlichen Drahtlänge, als die vier Elemente zu einer Batterie von doppelten Elementen vereinigt wurden. — In den beiden letzteren Fällen ist mithin die Stromstärke geringer als im ersteren, wo der Widerstand im Rheomotor sammt Tangentenbussole dem Widerstande im Schließungsbogen gleich kommt.

## 2. Die elektromotorische Kraft an verschiedenen Stellen des Schließungskreises.

Schaltet man an einer beliebigen Stelle des Schließungskreises eine Tangentenbussole ein, so zeigt sich die Magnetnadel überall ungleich viel Grade abgelenkt, vorausgesetzt, daß der Totalwiderstand des ganzen Kreises derselbe geblieben ist. — Bedient man sich zur Messung der Stromstärke eines Voltameters, so erhält man in einerlei Zeit stets gleiche Gasvolumen, an welcher Stelle das Voltameter auch eingeschaltet sein mag. Diese Resultate gelten sowohl für die einfache wie die zusammengesetzte Kette. Die Intensität des Stromes ist mithin in jedem Punkte des Schließungsbogens eine und dieselbe. — Ein derartiges Vorhandensein gleicher Menge von Elektricität in allen Punkten des Schließungskreises kann nur darin seine Erklärung finden, daß jeder Querschnitt des Kreises nach der einen Seite eben so viel Elektricität abgibt, als er in derselben Zeit von der andern Seite her bekommt. Verbindet man damit die Ansicht, daß die Fortbewegung der Elektricität von Querschnitt zu Querschnitt in der daselbst vorherrschenden Spannungsdifferenz ihren Grund habe, so muß letztere dem Widerstande direct proportional sein, welchen der Strom bei dem Uebergange von einem Querschnitt zum andern zu überwinden hat. — Die schönen Versuche, welche Kohlrausch angestellt hat, um über die elektrische Spannung in verschiedenen Theilen des Kreises einer geschlossenen Kette Aufschluß zu erhalten, dienen zur Bestätigung der Richtigkeit der eben ausgesprochenen Ansicht. Einige gedachter Versuche mögen hier eine nähere Erwähnung finden.

Ein feiner langer auf einen leichten Holzrahmen in Zickzackform gespannter Draht, bei welchem alle Windungen einerlei Länge hatten, bildete den Schließungsbogen einer galvanischen Kette. — Ward nun ein Punkt dieses Drahtes durch einen in der Erde vergrabenen Draht vollkommen abgeleitet, während ein anderer dem positiven Strome entgegen liegender Punkt mit einem empfindlichen Condensationselektroskop in Verbindung stand; so zeigte dasselbe positive Elektricität. Lag aber der geprüfte Punkt auf der anderen Seite des abgeleiteten, so bemerkte man eine negative Ladung. — Das Elektromotor gab dieselbe Spannung, an welcher Stelle im Schließungskreise auch die Prüfung vorgenommen wurde, wenn dieselbe Drahtlänge zwischen dem abgeleiteten und dem geprüften Punkte lag. —

Dagegen steigerte sich die Elektricität mit der zwischen beiden Punkten liegenden Drahtlänge.

Bei einer ähnlichen Untersuchung mit einem zur Hälfte aus feinerem, zur Hälfte aus dickerem Drahte bestehenden Schließungsbogen fand man, daß die Elektricität an dem dünnen Draht stärker als an dem dicken war, vorausgesetzt, daß auf dem einen wie dem andern dieselbe Drahtlänge zwischen dem abgeleiteten und dem geprüften Punkte lag. — Mit einem aus zwei verschiedenen Metallen von gleichem Querschnitte gebildeten Schließungsbogen erhielt man abermals bei gleicher Drahtlänge zwischen dem abgeleiteten und dem geprüften Punkte eine stärkere Elektricität auf dem Metalle von größerem Leitungswiderstand als auf dem andern. — Kohlrausch hat dergleichen Untersuchungen an verschiedenen Ketten angestellt und jederzeit übereinstimmende Resultate erhalten, sobald nur jeder fremdartige Einfluß auf die zu prüfende Elektricität sorgfältig vermieden wurde. Diese elektrische Spannung in dem Schließungskreise einer galvanischen Kette ist auch Ursache der interessanten elektrostatischen Wirkungen, welche Faraday bei seinen mit langen Telegraphendrähten angestellten Versuchen wahrgenommen hat.

Ein Kupferdraht von 1,6 Millimeter Durchmesser und 160 Kilometer Länge, welcher mit einer gleichförmigen 2,5 Millimeter dicken Guttaperchahülle umgeben war, wurde in Wasser gesenkt, während die beiden Enden des Drahtes außerhalb des Wassers isolirt blieben. Hierauf verband Faraday den einen Pol einer aus 360 Zink-Kupferelementen bestehenden Säule mit dem Erdboden und den andern durch ein Galvanometer mit dem einen freien Ende des Drahts. Die Nadel zeigte sofort eine starke Ablenkung, ging aber zugleich wieder zurück und blieb bei 5° Ablenkung stehen. Nachdem die Verbindung des Galvanometers mit der Säule aufgehoben und dasselbe mit dem Erdboden verbunden wurde, erlitt die Nadel wieder eine bedeutende Ablenkung nach der entgegengesetzten Seite. Die erste Ablenkung ließ auf eine Ladung, die zweite auf eine Entladung des Leitungsdrahtes schließen. — Das Metall und das Wasser, welche durch Guttapercha von einander gesondert sind, gleichsam die Belegung einer großen Leidener Flasche bildend, laden sich mit entgegengesetzter Elektricität. Diese Flasche kommt zur Entladung, wenn man das eine Ende des Drahts mit der Erde verbindet, welcher anderseits mit dem Wasser in leitender Verbindung steht. — Faraday wiederholte diese Versuche mit dem 160 Kilometer langen, durch Guttapercha isolirten Leitungsdrahte in freier Luft. Die elektrostatischen Entladungen fielen im Vergleich zu den früher bei der unterseeischen Leitung gefundenen nur höchst gering aus; was nicht befremden kann, da die Drahtleitung hier von Luft umgeben war, mithin der äußere Leiter fehlte. — Indessen werden bei einer langen Telegraphen-

leitung über der Erde jederzeit elektrostatische Ladungen an denjenigen Theilen der Drahtleitung zu Tage treten, welche der Erde hinlänglich nahe sind.

## 3. Vorgänge bei der Stromtheilung.

Wir wollen uns jetzt mit den Vorgängen beschäftigen, welche stattfinden, wenn der Stromleiter an einer Stelle sich in zwei später wieder vereinigende Aeste spaltet. Wir nennen deßhalb der Kürze halber ursprünglichen Strom denjenigen Strom, welcher durch den ursprünglichen Schließungskreis fließt, bevor der zweite Ast eingeschaltet worden; Hauptstrom den Strom, welcher durch den gesammten Schließungskreis nach der Einschaltung jenes zweiten Astes geht; partiellen Strom den Strom, welcher den nach der Einschaltung dieses Astes zwischen den beiden Vereinigungspunkten liegenden Theil des ursprünglichen Schließungskreises läuft; endlich Zweigstrom den durch den zweiten Ast fließenden Strom. Dies vorausgesetzt, seien E die gesammte elektromotorische Kraft der Elektricitätsquelle; w der Widerstand derselben sammt dem der Leitungsdrähte, welche von ihr nach den beiden Vereinigungspunkten führen; l der Widerstand des Intervalls der Verzweigung; l′ der Widerstand des eingeschalteten Astes. Für die Stromstärke S des primitiven Stromes hat man dann die Gleichung $S = \frac{E}{w + l}$. — Nach Einschaltung des zweiten Astes reducirt sich der Gesammtwiderstand der beiden zwischen den zwei Vereinigungspunkten befindlichen Leiter, deren einzelne Widerstände l und l′ sind, auf $\frac{l l'}{l + l'}$, wie an einer früheren Stelle gezeigt wurde. Die Stromstärke S′ des Hauptstromes, da die elektromotorische Kraft unverändert geblieben ist, beträgt hiernach: $S' = \frac{E}{w + \frac{l l'}{l + l'}} = \frac{E(l + l')}{w(l + l') + l l'}$.

Bezeichnet x die elektromotorische Kraft, welche den Strom durch die beiden Aeste treibt, so ist

$$x : E = \frac{l l'}{l + l'} : w + \frac{l l'}{l + l'},$$

woraus entspringt: $x = \frac{E l l'}{w(l + l') + l l'}$. — Hiernach ergibt sich für die Stärke s des partiellen Stroms der Ausdruck: $s = \frac{x}{l} = \frac{E l'}{w(l + l') + l l'}$; und für die Stärke s′ des Zweigstromes der Ausdruck:

$$s' = \frac{x}{l'} = \frac{E l}{w(l + l') + l l'}.$$

Addirt man die beiden letzteren Gleichungen, so kommt

$$s + s' = \frac{E(l + l')}{w(l + l') + l l'} = S':$$

der Hauptstrom ist also der Stärke nach der Summe der Intensitäten des partiellen und des Zweigstromes gleich. — Aus der Relation $\frac{s'}{s} = \frac{l}{l'}$ ergibt sich, daß die Intensitäten des partiellen Stroms und des Zweigstroms im umgekehrten Verhältnisse der entsprechenden Leitungswiderstände stehen.

Durch Division der Gleichung: $S' = \frac{E(l + l')}{w(l + l') + l l'}$ durch die Gleichung: $s = \frac{E l'}{w(l + l') + l l'}$ bekommt man: $\frac{S'}{s} = 1 + \frac{l}{l'}$. Für einen bestimmten Widerstand l des zwischen den Verzweigungspunkten befindlichen Theils des Hauptleiters wird der partielle Strom einen um so größeren Theil des Hauptstroms betragen, je größer der Widerstand l' des eingeschalteten Astes ist. — Dagegen wird für einen bestimmten Widerstand l' des eingefügten Astes der partielle Strom einen um so größeren Theil des Hauptstromes ausmachen, je geringer der Widerstand l des zwischen den Verzweigungspunkten liegenden Stücks des Hauptleiters ist. — Durch Division der Gleichung $S' = \frac{E(l' + l)}{w(l + l') + l l'}$ durch die Gleichung $s' = \frac{E l}{w(l + l') + l l'}$ erhält man $\frac{S'}{s'} = 1 + \frac{l'}{l}$. — Für einen gegebenen Widerstand l des Intervalles der Verzweigung beträgt der Zweigstrom einen um so größeren Theil des Hauptstromes, je kleiner der Widerstand l' des eingeschalteten Astes ist. — Dagegen macht für einen gegebenen Widerstand l' des eingefügten Astes der Zweigstrom einen um so größeren Theil des Hauptstromes aus, je beträchtlicher der Widerstand des Intervalls der Verzweigung ist.

Die oben auseinandergesetzten Relationen zwischen den Intensitäten des Hauptstromes, des partiellen Stromes und den Widerständen w, l und l' kann man auch benutzen, um den Widerstand eines Leiters durch den bekannten Widerstand eines andern Leiters zu bestimmen mit Hülfe einer Tangentenboussole und eines Elektromotors. Weber läßt zu diesem Behufe folgende Combinationen eintreten: 1) Die Pole des Elektromotors, dessen Widerstand w ist, werden gleichzeitig mit den Zuleitungsdrähten zur Tangentenboussole, deren Widerstand l ist, und mit den Enden des Leiters von dem bekannten Widerstand a verbunden. 2) Statt dieses Drahtes wird der Leiter eingeschaltet, dessen Widerstand x zu ermitteln ist. 3) Diese beiden Leiter werden nebeneinander gesetzt und ihre verbundenen Enden mit den Polen des Elektromotors an denselben Stellen vereinigt, wo auch die Zuleitungsdrähte zur Tangentenboussole eine Verbindung der Pole herstellen. 4) Beide Leiter werden aneinander gesetzt und stellen an den Verbindungsstellen des Elektromotors und der Tangentenboussole ebenfalls

einen Zweigstrom dar. — Es seien $S_1$, $S_2$, $S_3$, $S_4$ die Intensitäten der bei diesen vier Combinationen durch die Tangentenboussole fließenden partiellen Ströme. Für die in Rede stehenden Intensitäten liefert uns die Relation $S = \frac{E l'}{w(l+l') + l l'}$ nachstehende vier Gleichungen:

$$S_1 = \frac{E a}{w(a+l) + a l}; \quad S_2 = \frac{E x}{w(l+x) + l x};$$

$$S_3 = \frac{E a x}{w l (a+x) + a x (w+l)}; \quad S_4 = \frac{E(a+x)}{w l + (w+l)(a+x)}.$$

Um aus diesen Gleichungen die Größen E, w, l leicht eliminiren zu können, setzen wir mit Weber der Kürze wegen $\frac{E}{w l} = \alpha$ und $\frac{1}{w} + \frac{1}{l} = \beta$; es ergibt sich dann:

$$\alpha = S_1\left(\beta + \frac{1}{a}\right) = S_2\left(\beta + \frac{1}{x}\right) = S_3\left(\beta + \frac{1}{a} + \frac{1}{x}\right) = S_4\left(\beta + \frac{1}{a+x}\right)$$

und hieraus wieder:

$$\beta = \frac{\left(\frac{S_2}{x} - \frac{S_1}{a}\right)}{S_1 - S_2} = \frac{\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{x}\right) S_3 - \frac{1}{a} S_1}{S_1 - S_3} = \frac{\left(\frac{1}{a+x}\right) S_4 - \frac{S_1}{a}}{S_1 - S_4},$$

woraus folgende zwei Gleichungen entspringen:

$$(a - x) S_1 S_2 - a S_1 S_3 + x . S_2 S_3 = 0$$

$$(a^2 - x^2) S_1 S_2 + x^2 . S_1 S_4 - a^2 S_2 S_4 = 0$$

oder $x = a \frac{S_1 S_2 - S_1 S_3}{S_1 S_2 - S_2 S_3}$ und $x = a \sqrt{\frac{S_1 S_2 - S_2 S_4}{S_1 S_2 - S_1 S_4}}$.

Die erste dieser Gleichungen gibt den Werth von x aus den drei Beobachtungen, welche den Combinationen 1, 2 und 3 entsprechen, dagegen die zweite jenen Werth aus den drei Beobachtungen gibt, welche den Combinationen 1, 2 und 4 angehören. — Zwischen den vier Beobachtungen 1, 2, 3 und 4 findet mithin dem Ohm'schen Gesetze gemäß folgende Relation statt: $\frac{S_1^3}{S_2^3} = \left(\frac{S_1 - S_3}{S_2 - S_3}\right)^2 . \left(\frac{S_1 - S_4}{S_2 - S_4}\right)$. — Bei einem von uns angestellten Versuche, wo der Widerstand a eines Messingdrahtes als bekannt angenommen und der Widerstand x eines Stahldrahtes gesucht wurde, erhielt man $S_1 = \text{tg}\, 55^0$; $S_2 = \text{tg}\, 60^0{,}5$; $S_3 = \text{tg}\, 53^0{,}75$; $S_4 = \text{tg}\, 60^0{,}75$ und es ergab sich

$$\frac{x}{a} = \frac{S_1(S_2 - S_3)}{S_2(S_1 - S_3)} = 5{,}0708 \text{ und } \frac{x}{a} = \sqrt{\frac{S_2(S_1 - S_4)}{S_1(S_2 - S_4)}} = 4{,}931.$$

Ferner wird $\left(\frac{S_1}{S_2}\right)^3 = 0{,}5263$ und $\left(\frac{S_1 - S_3}{S_2 - S_3}\right)^2 \left(\frac{S_1 - S_4}{S_2 - S_4}\right)$ erhielt den Werth $= 0{,}50046$.

## 4. Messung der elektromotorischen Kräfte.

Die Stücke, von denen die Wirksamkeit einer Stromquelle abhängt, sind der Widerstand in der Stromquelle selbst, der des Schließungskreises und die elektromotorische Kraft. In dem vorhergehenden Kapitel haben wir die Mittel kennen gelernt, durch welche jene Widerstände bestimmt werden können. Es handelt sich jetzt darum, die Methoden anzugeben, die man zur Messung der elektromotorischen Kraft E in Anwendung bringt. Eine der einfachsten Methoden besteht darin, daß man die Stromstärken bei zwei verschiedenen Leitungswiderständen des Schließungsbogens bestimmt und die erhaltenen Werthe in die Ohm'sche Formel substituirt. Hat man auf diese Weise die beiden Gleichungen $S = \frac{E}{w + l}$, $S' = \frac{E}{w + l'}$, wo w den Widerstand im Elektromotor und l und l' den in den hinzugefügten Schließungsbögen bezeichnet; so bekommt man $E = \frac{S\,S'}{S - S'}(l' - l)$. Der Zahlenwerth wird natürlich durch die Einheiten bedingt, welche man der Stromstärke und dem Widerstande zu Grunde legt. — Folgendes specielles Beispiel mag die Sache näher erläutern. Mit einem Zinkeisenelemente fanden wir bei keiner weiteren Einschaltung von Draht eine Ablenkung von 40° und bei einer Einschaltung eines 0,81.77,28 Centimeter langen und 1,68 Millimeter dicken Neusilberdrahtes eine Ablenkung von 34°. Aus diesen Stücken ergibt sich die elektromotorische Kraft des Zinkeisenelementes gleich 2,15; d. h. letztere Kraft ist von solcher Beschaffenheit, daß sie 2,15 mal größer als diejenige elektromotorische Kraft ist, welche bei dem Leitungswiderstande eines Neusilberdrahtes von 1 Meter Länge und 1,68 Millimeter Dicke eine Ablenkung von 45° an der Tangentenbussole bewirkt; oder 6,6 mal größer als diejenige elektromotorische Kraft, welche bei dem Leitungswiderstande eines Kupferdrahtes von 1 Meter Länge und 1 Millimeter Dicke ebenfalls eine Ablenkung von 45° an unserer Tangentenbussole hervorbringt.

Will man sich mit der Kenntniß des Verhältnisses zweier elektromotorischen Kräfte begnügen, so kann man nach Wheatstone folgendermaßen verfahren. Man schaltet in den Schließungsbogen des Elektromotors eine Tangentenbussole und ein Rheostat ein und regulirt den Strom so, daß die Ablenkung eine bestimmte Größe a beträgt. Hierauf vermehrt man den Widerstand durch Umdrehung des Rheostats, bis die Ablenkung der Nadel = b wird: es sei l der Werth des dadurch erwachsenen Widerstandes. — Denselben Versuch mit dem zweiten Elektromotor, wobei die beiden Ablenkungen der Tangentenbussole genau dieselben wie vorhin sein müssen: es sei l' der Werth des im zweiten Fall hinzugefügten Widerstandes. — Sind nun E und E' die elektromotorischen Kräfte, w und w'

die zugehörigen Totalwiderstände der beiden Leitungen bei der Ablenkung a; so hat man, weil die Stromstärken bei je zwei Beobachtungen untereinander gleich waren, die zwei Relationen: $\frac{E}{w} = \frac{E'}{w'}$ und $\frac{E}{w+l} = \frac{E'}{w'+l'}$. Aus denselben entspringt $E\,l' = E'\,l$ oder $E : E' = l : l'$: d. h. die elektromotorischen Kräfte verhalten sich wie die eingeschalteten Widerstände, um die Nadel von einer bestimmten Ablenkung a auf die kleinere Ablenkung b zurückzuführen. — Zur Erläuterung mag folgendes Beispiel dienen. Ohne weitere Einschaltung gab ein Zinkeisenelement eine Ablenkung von 40° und nach Einschaltung eines 0,81.77,28 Centimeter langen Neusilberdrahtes eine Ablenkung von 34°. Um bei einem andern Zinkeisenelement die Nadel der Tangentenbussole von 40° auf 34° zu bringen, mußte ein 1,03.77,28 Centimeter langer Neusilberdraht eingeschaltet werden. Daraus entspringt für die elektromotorischen Kräfte E, E' der beiden Elektromotoren folgende Proportion: $E : E' = 0{,}81 : 1{,}03$ oder $E : E' = 1 : 1{,}27$.

Ein anderes von Jacobi angegebenes Verfahren beruht auf dem Theilungsgesetze der elektrischen Ströme. Die zwei Elektromotoren werden nach einander in den Schließungskreis gebracht und außerdem ein Rheostat und ein Galvanometer in den Verzweigungsast eingeschaltet. Es seien w der Widerstand des einen Elektromotors und E dessen elektromotorische Kraft; w' und E' dieselben Größen für den zweiten Elektromotor; l der Widerstand des zwischen den beiden Vereinigungspunkten liegenden Theils des Hauptleiters, um bei Anwendung des ersten Elektromotors eine bestimmte Ablenkung des Galvanometers zu bewirken; l' der Widerstand jenes Theils der Leitung, um bei Anwendung des zweiten Elektromotors die nämliche Ablenkung hervorzubringen; endlich z der Widerstand des unveränderlich gebliebenen Zweigdrahtes. Die Gleichheit der Stromstärke in den beiden Verzweigungsintervallen liefert die Gleichung:

$$\frac{E}{w\,(l+z)+l\,z} = \frac{E'}{w'\,(l'+z')+l\,z}.$$

Wird nun in beiden Fällen der Zweigdraht weggenommen und dafür die entsprechenden Widerstände λ und λ' eingeführt, um wieder dieselbe Ablenkung des Galvanometers zu erhalten; so hat man die Relation:

$$\frac{E}{w+l+\lambda} = \frac{E'}{w'+l'+\lambda'}.$$

Aus der Zusammenstellung der beiden Gleichungen entspringt:

$$\frac{E}{E'} = \frac{l^2+l\,z+l\,\lambda}{l'^2+l'\,z+l'\,\lambda'}.$$

Die eben auseinandergesetzten Methoden bieten keine Schwierigkeit dar in der Ausführung für Ketten von constanter Beschaffenheit. Anders verhält es sich mit der Anwendung jener Methoden auf die veränderlichen

mit einer Flüssigkeit construirten Ketten, wegen der bei ihnen stattfindenden Polarisation. Für dergleichen inconstante Ketten muß man daher eine andere Methode aufsuchen, bei welcher die Polarisation zum Verschwinden gebracht wird und der Ausdruck für die ursprüngliche nicht durch den Act der Polarisation getrübte elektromotorische Kraft der galvanischen Combination gewonnen werden kann. Dahin führt das von Poggendorf erdachte unter dem Namen der Compensationsmethode bekannte Verfahren, welches für alle galvanische Combination in gleichem Grade anwendbar ist. Bei diesem Verfahren wird eigentlich nicht der Strom der Kette, sondern blos die Tendenz zu demselben gemessen: der Strom kommt nicht zur Entstehung, deßhalb auch die Polarisation nicht, welche nur ein Effect des Stromes ist. — Das von Poggendorf angegebene Verfahren ist folgendes. Man nimmt eine constante Kette von großer Kraft, am besten eine Grove'sche und bestimmt nach der Ohm'schen Methode ihre elektromotorische Kraft E und ihren Widerstand w. Hierauf verbindet man die Zinkplatte dieser constanten Kette mit der positiven Platte der inconstanten Kette durch einen Draht a, ferner durch einen Draht b die positive Platte der inconstanten Kette mit der Platinplatte der constanten, endlich läßt man von der Platinplatte einen Draht c ausgehen, der irgendwo einen empfindlichen Multiplicator einschließt und zu der negativen Platte der inconstanten Kette geführt werden kann, ohne indeß in dauernder Verbindung mit ihr zu bleiben. — Der Draht a und die Flüssigkeiten in der constanten Kette leisten den Gesammtwiderstand l', der Draht b den Widerstand l. Beide Widerstände wählt man nun dergestalt, daß in dem Draht c der Strom Null wird, d. h. der Multiplicator bei momentaner Schließung keine Wirkung äußert. Hat man nach einigen Proben, wobei man den Draht angemessen verlängert oder verkürzt, diejenige Länge gefunden, welche in dem Draht c keinen Strom aufkommen läßt, so bekommt man für die elektromotorische Kraft E' der inconstanten Kette den Ausdruck: $E' = \frac{l}{l + l'} \cdot E$. Die Genauigkeit des Resultats hängt ab von der Sorgfalt, mit welcher die Compensation bewerkstelligt worden; dann von der sichern Kenntniß der elektromotorischen Kraft E; endlich von der richtigen Ermittelung der Widerstände l und l'.

Wir hätten jetzt die Richtigkeit der Gleichheit: $E' = \frac{l}{l + l'} \cdot E$ nachzuweisen. Zu diesem Behufe erwägen wir, daß der Gesammtwiderstand der Leitung in der inconstanten Kette $z + \frac{l\,l'}{l + l'} = \frac{l'(l + z) + l\,z}{l + l'}$ beträgt, wo z den Widerstand des Multiplicatordrahts bezeichnet. Daraus ergibt sich für die Stromstärke der inconstanten Kette in dem Multipli-

catordrahte der Ausdruck: $\frac{E'(l+l')}{l'(l+z)+lz}$. — Anderseits haben wir für die Stromstärke des partiellen Stroms der constanten Kette in dem Multiplicatordrahte den Ausdruck: $\frac{El}{l'(l+z)+lz}$. — Beide Ketten sind nun so miteinander verbunden, daß ihre elektromotorischen Kräfte den Strom in dem Multiplicatordrahte nach entgegengesetzter Richtung zu bewegen streben. Soll mithin der Strom verhindert werden, seinen Weg durch gedachten Strom zu nehmen, so müssen die beiden vorhin erwähnten Stromstärken einander gleich sein, was uns die oben aufgestellte Relation liefert.

Als Anwendungen dieses Verfahrens mögen nachstehende drei von Poggendorf angeführte Beispiele dienen. Bei der Verbindung einer Daniell'schen Kette mit einer Grove'schen ergab sich für das eingetretene Gleichgewicht zwischen beiden Ketten der Widerstand $l' = 35{,}03 \times 2{,}6$ und $l = 52{,}68 \times 2{,}6$ Centimeter in Neusilberdraht ausgedrückt. Folglich $\frac{l+l'}{l} = 1{,}668$. Nach der Ohm'schen Methode erhielt man $E = 25{,}886$ und $E' = 15{,}435$; folglich $\frac{E}{E'} = 1{,}667$, was nicht bedeutend von dem nach der Compensationsmethode gefundenen Resultate abweicht. — Als mit einer Grove'schen Kette, für welche $E = 22{,}882$ und $l' = 34{,}72 \times 2{,}6$, einmal eine Zinkkupferkette und dann eine Zinkeisenkette nach der auseinandergesetzten Methode verbunden wurde, erhielt man für die erste Kette $l = 52{,}68 \times 2{,}6$ Centimeter, mithin $E' = 13{,}792$; und für die zweite Kette $l = 16{,}59 \times 2{,}6$ Centimeter, folglich $E' = 7{,}399$. — Die elektromotorische Kraft der Zinkkupferkette ist also größer als bei der Zinkeisenkette. — Wenn nach Entstehung des Stromes das umgekehrte Verhältniß eintritt, so kann dies seinen Grund nur in der Polarisation haben, welche bei der Kupferkette größer als bei der Eisenkette ist.

Wenn man elektromotorische Kräfte genau bestimmen will, so muß man auf verschiedenartige Umstände Rücksicht nehmen, welche auf jene Kräfte von Einfluß sein können. Dahin gehören Natur der Platten und deren Oberflächenzustand, Beschaffenheit der Flüssigkeit und deren Concentration, directe Einwirkung derselben auf die Platten, Zustand der porösen Scheidewände. Ohne sorgfältige Beachtung dieser Umstände haben die numerischen Bestimmungen der elektromotorischen Kräfte keinen großen Werth. — Nachstehende Tabelle enthält die elektromotorischen Kräfte für verschiedene Ketten, wobei die der Grove'schen oder Zinkplatinkette mit verdünnter Schwefelsäure und Salpetersäure zu 100 angenommen ist.

Für die Daniell'sche Kette oder Zinkkupferkette mit verdünnter Schwefelsäure und concentrirter Lösung von Kupfervitriol = 62,4;

für die Bunsen'sche oder Zinkkohlenkette mit verdünnter Schwefelsäure und Salpetersäure = 99,8;
für die Callan'sche oder Zinkeisenkette mit verdünnter Schwefelsäure und concentrirter Salpetersäure = 78,6.
Für eine Zinkkupferkette in verdünnter Schwefelsäure = 53,8;
für eine Kupferplatinkette in verdünnter Schwefelsäure = 37,9;
für eine Zinkkupferkette in verdünnter Salpetersäure = 60.
für eine Zinkplatinkette in verdünnter Salpetersäure = 70.
Die hier mitgetheilten Werthe sind nicht als Normalwerthe der elektromotorischen Kräfte, sondern nur als genügende Annäherungen zu betrachten.

## III. Untersuchungen über die Magnetisirung der Elektromagnete.

### 1. Magnetische Sättigung des Eisens. — Einfluß der Stromstärke. Erregter und freier Magnetismus. — Anziehung und Tragkraft.

Auf die Stärke des im Eisen durch den Volta'schen Strom erregten Magnetismus haben gar mancherlei Umstände Einfluß, deren einzelne Wirkungen man kennen muß, wenn man die definitiven Kraftäußerungen der Elektromagnete richtig beurtheilen will. Dergleichen Umstände sind die Stärke des elektrischen Stromes, die Leitungsfähigkeit und Anordnung der Windungen, die Gestalt und Masse des Eisens, die Form des Ankers. Die Gesetze, nach denen sich der Einfluß dieser Stücke auf den Erfolg richtet, erleiden sämmtlich eine Beschränkung durch die magnetische Sättigung des Eisens; weßhalb es an seinem Orte ist, einen solchen Zustand des Eisens zunächst zu besprechen. Die von J. Müller angestellten Versuche mögen hier als Anhaltungspunkte dienen.

Derselbe leitete den galvanischen Strom von sechs Bunsen'schen Bechern, von denen je drei zu einem Plattenpaare combinirt waren, durch eine Magnetisirungsspirale und durch eine Tangentenbussole, welche sich in hinlänglicher Entfernung befand, damit die Spirale keinen merklichen Einfluß auf die Nadel ausüben konnte. In die Spirale, welche aus 372 Windungen eines 2,7 Millim. dicken Kupferdrahtes bestand, wurden 4 Eisenstäbe von 560 Millim. Länge, 9 Millim., 12 Millim., 15 Millim. und 44 Millim. Durchmesser eingeführt. Der durch die Spirale geleitete Strom ward von $3^0,2$ Ablenkung an der Tangentenbussole bis auf $33^0,1$ gesteigert. Die einer Ablenkung von $45^0$ entsprechende Gasmenge betrug 70 Kubikcentimeter; mithin war nach chemischem Maße die Stromstärke, welche eine Ablenkung von $v^0$ hervorbrachte, gleich $70 \,.\, \text{tang}\, v$. Darnach ergab sich für die magnetisirende Kraft k der Spirale, nämlich für das Produkt der Stromstärke mit der Windungszahl der Ausdruck $k = 70 \,.\, 372 \,.\, \text{tang}\, v$.

Die Resultate der Versuche sind in folgender Tabelle zusammengestellt. Die mit v überschriebene Columne enthält die an der Tangentenbussole beobachtete Ablenkung; die mit s überschriebene Columne gibt die entsprechende Stromstärke; in der folgenden Columne ist die zugehörige magnetisirende Kraft der Spirale aufgezeichnet. — Die mit $\beta$ überschriebene Columne gibt die Ablenkung, welche die Spirale für sich allein an einer zweiten Bussole bewirkt, während die Columne $\alpha$ die von dem magnetisirten Eisenstab und der Spirale zugleich hervorgebrachte Ablenkung der Bussole angibt. Der Werth $\tan\alpha - \tan\beta$ gibt das Maß für den Stabmagnetismus, wie er in der mit m überschriebenen Columne sich vorfindet. Endlich enthält die letzte Columne die Werthe der Quotienten $\frac{m}{k}$, mit 100000000 multiplicirt, um die Decimalstellen zu vermeiden.

| | v | s | k | $\beta$ | $\alpha$ | m | $\frac{m}{k}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Erster Stab. | | | | | | | |
| | 32°,2 | 44,079 | 16397 | 2° 48′ | 18° | 0,2760 | 1683 |
| | 28°,2 | 37,534 | 13963 | 2° 27′ | 17° 33′ | 0,2735 | 1959 |
| | 15°,4 | 19,278 | 7110 | 1° 20′ | 13° 41′ | 0,2202 | 3097 |
| | 3°,2 | 3,913 | 1456 | 16′ | 3° 41′ | 0,0597 | 4100 |
| Zweiter Stab. | | | | | | | |
| | 32°,2 | 44,079 | 16397 | 2° 48′ | 27° | 0,4606 | 2808 |
| | 27°,5 | 36,442 | 13556 | 2° 24′ | 26° 6′ | 0,4325 | 3309 |
| | 7° | 8,596 | 3198 | 36′ | 9° | 0,1479 | 4625 |
| | 3°,3 | 3,731 | 1388 | 17′ | 4° 25′ | 0,0723 | 5209 |
| Dritter Stab. | | | | | | | |
| | 20°,5 | 26,173 | 9736 | 1° 47′ | 24° 23′ | 0,4222 | 4336 |
| | 8° | 9,835 | 3659 | 0° 42′ | 10° 48′ | 0,1786 | 4881 |
| | 6°,4 | 7,854 | 2922 | 0° 34′ | 8° 33′ | 0,1404 | 4805 |
| | 5°,7 | 6,886 | 2506 | 0° 30′ | 7° 12′ | 0,1176 | 4591 |
| Vierter Stab. | | | | | | | |
| | 33°,1 | 45,603 | 16975 | 2° 52′ | 54° 23′ | 1,3631 | 8041 |
| | 20°,2 | 25,753 | 9580 | 39° 22′ | 39° 22′ | 0,7898 | 8244 |
| | 18°,8 | 19,810 | 7369 | 31° 44′ | 31° 44′ | 0,5946 | 8069 |
| | 12° | 14,832 | 5536 | 25° 44′ | 25° 44′ | 0,4640 | 8381 |

Die in der letzten Columne aufgeführten Werthe geben das Verhältniß des erhaltenen Stabmagnetismus zu der angewandten magnetisirenden Kraft. Wäre demnach der Magnetismus des Elektromagnets der Stromstärke proportional, so müßte der Werth von $\frac{m}{k}$ constant bleiben. Dies ist aber keineswegs der Fall. Aus der Tabelle ist nämlich ersichtlich, daß für größere Stromstärken der Stabmagnetismus geringer ausfällt, als es das Gesetz der Proportionalität verlangt. Ferner ergibt sich aus der

Tabelle, daß eine derartige Abweichung um so eher eintritt, je dünner der Eisenkern ist. Dies führt uns zu dem Schlusse, daß der Magnetismus in einem Eisenstabe nicht bis zu jeder beliebigen Höhe gesteigert werden kann, sondern daß eine Grenze existirt, über welche hinaus zu gehen unmöglich ist.

Im Uebrigen können wir jedoch das von Jacobi und Lenz aufgestellte Gesetz, daß der im weichen Eisen durch galvanische Ströme erregte Magnetismus diesen Strömen proportional sei, als ein der Wirklichkeit entsprechendes ansehen, so lange nämlich der Sättigungszustand des Eisens daran keine Aenderung bewirkt; ein Zustand, welcher bei den gewöhnlich zur Anwendung kommenden Fällen nicht eintritt. Schon die oben angeführten Versuche lassen das Vorhandensein einer solchen Art von Proportionalität erkennen, indem man dieselbe bei dem dicken Stabe beobachtet, dagegen sie bei dem dünnen durchaus nicht wahrnimmt. Der Grund dieser Verschiedenheit liegt offenbar darin, daß der Sättigungszustand bei dem dünnen Stabe eher als bei dem dicken Stabe hervortritt, was bewirkt, daß die Abweichung von der Proportionalität bei dem dünnen Stabe früher als bei dem dicken Stabe bemerkbar wird. Für die Richtigkeit dieser Ansicht sprechen die Ergebnisse, welche Jacobi und Lenz bei ihren Versuchen mit stärkeren und kürzeren Stäben erhalten haben, bei denen, wie gesagt, die magnetische Sättigung nicht so früh wie bei dünnen und langen Stäben zum Vorschein kommt.

Beide Physiker umgaben mehrere Eisencylinder von einerlei Länge, aber verschiedenem Durchmesser mit zwei Spiralen, deren eine als magnetisirende Spirale von dem galvanischen Strome durchflossen wurde, während die zweite als Inductionsspirale diente. Wie wir nämlich bald sehen werden, wird beim Schließen und Oeffnen der Kette in letzterer ein momentaner Strom oder sogenannter Inductionsstrom hervorgerufen, wenn diese einen in sich geschlossenen Leiter bildet. Zur Messung des Inductionsstromes war in den Schließungsbogen der Inductionsspirale ein Multiplicator eingeschaltet. Nun ist der Sinus des halben Ablenkungswinkels dem Inductionsstrome proportional, welchem letzteren wieder der in dem Eisen erregte Magnetismus proportional ist. — Dies vorausgesetzt beobachteten Lenz und Jacobi jedesmal die Wirkung, welche der in der magnetisirenden Spirale verschwindende Strom in der Inductionsspirale mit dem Eisenkern hervorrief und hierauf die Wirkung, welche bei Unterbrechung des Stromes die Inductionsspirale ohne Eisenkern hervorbrachte. Die Differenz zwischen beiden Wirkungen entsprach dann dem in dem Eisenstabe erregten Magnetismus. Die Intensität des Stroms ward mittelst der elektromagnetischen Wage gemessen. Eine derartige Wage besteht in einer noch für einen Bruchtheil eines Milligramms einen Aus-

schlag gebende Probirwage, an deren beiden Enden des Wagebalkens mittelst einer verticalen Stange eine Schale und ein Magnetstab mit dem Nordpol nach unten aufgehängt und darunter durch ein geeignetes Gestell zwei Glasröhren von solcher Weite befestigt sind, daß die beiden Magnete hineintreten können, ohne die Wände zu berühren. — Um jede dieser Röhren ist ein mit Seide besponnener Kupferdraht von 10000 Windungen gewickelt. Leitet man nun durch diese Windungen, nachdem die Magnete in die Achsen derselben gestellt worden, einen galvanischen Strom; so werden die Magnete und damit auch die Arme des Wagebalkens sich heben oder senken, je nach der Richtung des Stromes. Die Anordnung wurde der Art getroffen, daß auf beide Enden des Wagebalkens abstoßende Kräfte wirkten, zu welchem Behufe der eine Magnetstab sich über, der andere sich unter der Spirale befand. Auf die gehobenen Wageschalen wurden dann so lang Gewichte gelegt, bis der Wagebalken wieder die horizontale Lage annahm. Die zur Taxirung erforderlichen Gewichte gaben alsdann das Verhältniß der angewandten Ströme. In einer Entfernung von 5 Meter von der Wage befand sich die elektromagnetische Spirale, welche den Eisenstab umgab. Der Strom, dessen Stärke an der Wage gemessen wurde, durchlief so hintereinander die beiden Spiralen, die magnetisirende Spirale und zwei dicke kupferne Leitungsdrähte, welche diese beiden Systeme mit einander verbanden.

Nachstehende Tabelle enthält die Resultate der Versuche mit vier Eisencylindern von 203,2 Millimeter Länge und von einem Durchmesser von 1,27; 2,54; 3,81; 5,08 Millimeter Durchmesser, deren jeder nach und nach dem Einflusse von acht Strömen unterworfen wurde, deren Stärke durch 400, 750, 1000, 1300, 1800, 2400, 2900 und 3300 Milligrammes gemessen war. Die vergleichende Zusammenstellung der zusammengehörigen Zahlen zeigt, daß der Gleichung $m = k \sin \frac{\alpha}{2}$ Genüge geschieht, wo m den Inductionsstrom, $\alpha$ die durch denselben bewirkte Ablenkung und k einen constanten Factor bezeichnet.

| Stromstärke | Ablenkungswinkel $\alpha$. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| in Milligrammes. | Ohne Eisencylinder. | Cylinder von 1,27 Millim. | Cylinder von 2,54 Millim. | Cylinder von 3,81 Millim. | Cylinder von 5,08 Millim. |
| 400 | nicht beobachtet | 5,67 | 8,00 | 10,07 | 7,95 |
| 750 | 3,55 | 10,80 | 15,17 | 19,30 | 15,17 |
| 1000 | 4,92 | 14,77 | 20,32 | 25,90 | 20,17 |
| 1300 | 6,47 | 19,32 | 26,95 | 33,97 | 26,92 |
| 1800 | 9,27 | 28,52 | 39,15 | 49,40 | 39,12 |
| 2400 | 11,97 | 38,17 | 59,92 | 67,37 | 52,72 |
| 2900 | 15,00 | 48,00 | 66,02 | 85,80 | 66,02 |
| 3300 | 17,42 | 56,57 | 77,05 | 102,10 | 78,50. |

Der im weichen Eisen durch galvanische Ströme erregte Magnetismus ist mithin diesen Strömen genau proportional, so lange nicht Sättigung das Verhältniß abändert.

Dasselbe Verhältniß besteht auch für die Stromstärke und den freien Magnetismus. Unter freiem Magnetismus wird nämlich derjenige Theil des erregten Magnetismus verstanden, welcher nach außen zur Wirkung gelangt und nicht durch den gegenseitigen Einfluß der innerhalb des Kerns liegenden Theile gebunden wird. Professor v. Feilitzsch zu Greifswald hat die ersten Versuche nach dieser Seite hin angestellt. Zur Messung der Stromstärken und der Intensitäten des freien Magnetismus bediente sich v. Feilitzsch einer kleinen Declinationsnadel, deren Mitte genau über dem Nullpunkt einer senkrecht auf dem magnetischen Meridian stehenden Scale sich befand. Eine Kupferdrahtspirale von der Länge 2 a konnte auf der einen Seite und ein Stahlmagnet von der Länge $2\,\alpha$ auf der andern Seite der Declinationsnadel längs der Scale verschoben werden. Die Verschiebung geschah so lange, bis die Declinationsnadel sich wieder genau in den magnetischen Meridian stellte. — Bezeichnet r die Entfernung der Mitte der Spirale von der als verschwindend klein betrachteten Nadel, $\varrho$ die Entfernung der Mitte des Stahlmagnets von der letztern, J die Intensität der Wirkung eines Poles der Spirale auf die Nadel in der Einheitsentfernung; so wird der der Nadel zunächst gelegene Pol mit einer Intensität $\frac{J}{(r-a)^2}$ auf dieselbe wirken, dagegen der entfernter liegende entgegengesetzte Pol mit einer Intensität $\frac{-J}{(r+a)^2}$ zur Geltung kommen, woraus die Gesammtwirkung $J\left(\frac{1}{(r-a)^2}-\frac{1}{(r+a)^2}\right)$ entspringt. Bedeutet J′ die entsprechende Intensität für den Stahlmagnet, so wird seine Wirkung auf die Nadel durch $J'\left(\frac{1}{(\varrho-\alpha)^2}-\frac{1}{(\varrho+\alpha)^2}\right)$ ausgedrückt. Ist aber durch die Wirkung der elektromagnetischen Spirale und des Stahlmagnets die Nadel in ihre ursprüngliche Gleichgewichtslage gekommen, so müssen die beiden vorhergehenden Werthe einander gleich sein, was, wenn die Wirkung des Stahlmagnets $J'=1$ gesetzt wird, die Relation:

$$J\left(\frac{1}{(r-a)^2}-\frac{1}{(r+a)^2}\right)=\frac{1}{(\varrho-\alpha)^2}-\frac{1}{(\varrho+\alpha)^2}$$

liefert. — In der folgenden Tabelle sind die Resultate der Versuche zusammengestellt, welche mit massiven Eisencylindern unternommen wurden, um das Verhältniß des in denselben vorhandenen freien Magnetismus zur Stromstärke zu ergründen. Sämmtliche Cylinder hatten einerlei Länge von 110 Millimeter und waren von der nämlichen Eisensorte angefertigt; ihre Umfänge sind in der ersten Columne verzeichnet. Zunächst wurde die

Stromstärke nach dem oben angegebenen Verfahren ermittelt, alsdann der Eisenkern in die Spirale geschoben und der Stahlmagnet der Declinationsnadel so lange genähert, bis dieselbe wieder in das Gleichgewicht gebracht war, und seine Entfernung $\varrho$ vom Nullpunkt der Scala genau gemessen. Die Größe r ist die Entfernung der Mitte der Spirale von dem Nullpunkt der Scale; die Größen a und $\alpha$ sind beziehungsweise = 51 Millimeter und = 45,5 Millim. — Der erste Theil der Tabelle enthält die Größen r und $\varrho$ nebst den daraus hergeleiteten Maßen J für die Stromstärke. Der andere Theil gibt den Umfang der Eisenkerne nebst dem freien Magnetismus m: derselbe wird gefunden, wenn man die für die Spirale allein erhaltene Zahl von der durch die Spirale sammt Eisenkern gefundenen abzieht.

Stromstärke J in absolutem Maße.

| Millim. | Millim. | Millim. | Millim. | Millim. | Millim. |
|---|---|---|---|---|---|
| r = 300 | r = 400 | r = 500 | r = 700 | r = 850 | r = 1000 |
| $\varrho$ = 589,07 | $\varrho$ = 588 | $\varrho$ = 466,203 | $\varrho$ = 475,67 | $\varrho$ = 477,67 | $\varrho$ = 469,82 |
| J = 0,110 | J = 0,269 | J = 1,070 | J = 2,811 | J = 4,956 | J = 8,499 |

Entwickelter Magnetismus in absolutem Maße.

| Umfang in Millimeter. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 94,9 | $\varrho$ = 385,30<br>M = 0,285 | $\varrho$ = 383,25<br>M = 0,717 | $\varrho$ = 305,42<br>M = 2,792 | $\varrho$ = 309,22<br>M = 7,471 | $\varrho$ = 309,87<br>M = 13,399 | $\varrho$ = 308,17<br>M = 21,956 |
| 90,7 | $\varrho$ = 388,27<br>M = 0,276 | $\varrho$ = 385,82<br>M = 0,690 | $\varrho$ = 307,72<br>M = 2,693 | $\varrho$ = 311,55<br>M = 7,239 | $\varrho$ = 312,10<br>M = 13,003 | $\varrho$ = 310,52<br>M = 21,259 |
| 67,6 | $\varrho$ = 411,22<br>M = 0,216 | $\varrho$ = 408,12<br>M = 0,540 | $\varrho$ = 324,60<br>M = 2,129 | $\varrho$ = 329,60<br>M = 5,656 | $\varrho$ = 329,82<br>M = 10,226 | $\varrho$ = 327,05<br>M = 16,891 |
| 54,9 | $\varrho$ = 421,00<br>M = 0,182 | $\varrho$ = 423,30<br>M = 0,465 | $\varrho$ = 336,15<br>M = 1,806 | $\varrho$ = 340,67<br>M = 4,848 | $\varrho$ = 341,15<br>M = 8,715 | $\varrho$ = 338,12<br>M = 14,47 |

Vergleicht man die für die Stromstärke J angegebenen Zahlen mit den für den freien Magnetismus M erhaltenen Zahlen, so ergibt sich, daß derselbe der Stromstärke proportional ist. Zugleich zeigen die größeren Stromstärken eine für die Proportionalität zur Stromstärke etwas zu geringen Magnetismus, welcher Unterschied desto merklicher wird, je dünner die Eisencylinder sind; ein Umstand, dessen oben schon Erwähnung geschehen ist.

Die Kraftäußerung zwischen einem Elektromagneten oder zwischen zwei Elektromagneten befolgt verschiedene Gesetze, je nachdem die beiden Körper unmittelbar einander berühren, oder nicht oder auch zwischen dieselben ein für den Magnetismus indifferenter Körper gehalten wird, z. B. eine dünne Holzscheibe oder ein Stück glattes Papier. Wir wollen die im zweiten Falle waltende Kraftäußerung Anziehung und die im ersteren sich kund-

gebende Wirkung Tragkraft nennen. — Um das Gesetz der Anziehung der geraden Stabelektromagnete festzustellen, haben Lenz und Jacobi dergleichen Stäbe lothrecht unter dem Ende eines gewöhnlichen Wagebalkens befestigt, an welchem nach Umständen eine Stange weichen Eisens oder ein Elektromagnet hing, welche durch Gewichte am andern Ende genau äquilibrirt waren. Die Enden der den obern Eisenstab umgebenden Spirale, wenn derselbe eine solche hatte, tauchten bei den Versuchen über die Anziehung zweier Elektromagnete in Quecksilbergefäße, wobei der Strom eine derartige Richtung erhielt, daß er beide Spiralen hintereinander durchlaufend den gegenüberstehenden Polen ungleichnamige Magnetismen ertheilte. Die Anziehungskraft wurde durch Zulegen von Gewichten bis der Anker abriß gemessen und von dem zuletzt aufgelegten Gewichte blos die Hälfte in Rechnung gebracht; die Stärke des Stromes ward nach der Tangentenbussole bestimmt. — Mit einem festen Elektromagnet von 20,92 Centimeter Länge und 3,922 Centimeter Durchmesser einerseits, und mit einem am Wagebalken aufgehängten Eisencylinder von 5,23 Centimeter Länge und 3,922 Centimeter Dicke anderseits haben sich die in folgender Tabelle aufgezeichneten Resultate ergeben:

| Ablenkung. | Anziehung in Grammes. | Ablenkung. | Anziehung in Grammes. |
|---|---|---|---|
| 50° 48′ | 678,66 | 33° 8′ | 188,12 |
| 50° 35′ | 658,21 | 28° 48′ | 138,34 |
| 42° 26′ | 379,83 | 19° 6′ | 56,783 |
| 36° 27′ | 244,91 | 19° 4′ | 56,101. |

Die vergleichende Zusammenstellung der Tangenten der Ablenkungswinkel unter einander und der entsprechenden Gewichte zeigt, daß die Anziehungen zwischen einem Elektromagneten und dem weichen Eisen sich wie die Quadrate der magnetisirenden Ströme verhalten.

Bei einer Versuchsreihe mit zwei Eisenstangen von 5,23 Centimeter Länge und 3,922 Centimeter Dicke, deren jede mit 108 Windungen dünnen Drahtes in drei Lagen übereinander umgeben war, fand man folgende Resultate:

| Ablenkungswinkel. | Anziehung in Grammes. | Ablenkungswinkel. | Anziehung in Grammes. |
|---|---|---|---|
| 14° 42′ | 17,82 | 30° 10′ | 90,88 |
| 17° 58′ | 27,66 | 34° 58′ | 136,97 |
| 24° 38′ | 55,42 | 43° 22′ | 243,55 |
| 25° 18′ | 58,87 | 44° 22′ | 265,58. |

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß für die Anziehung zweier gleich starker Elektromagnete das nämliche Gesetz gilt wie für die eines Elektromagnets und des weichen Eisens: d. h. die Anziehung ist dem Quadrate der magnetisirenden Ströme proportional.

Wenn die beiden sich anziehenden Magnete nicht von demselben Strome durchflossen werden, so ist die Anziehung dergleichen Magnete dem Quadrate der Summe ihrer magnetisirenden Ströme proportional. Zu diesem Ergebnisse ist Dr. Dub in Berlin gelangt, indem er zwei Magnete, deren einer 31,38 Centimeter lang und 2,61 Centimeter dick, der andere 15,69 Centimeter lang und ebenfalls 2,61 Centimeter dick war, einander anziehen ließ. Die magnetisirenden Ströme wurden durch zwei galvanische Batterien hervorgerufen und jeder für sich durch eine Tangentenbussole und einen Rheostaten geleitet, so daß sie von einander unabhängig gemessen und beliebig verstärkt werden konnten. Die Resultate dieser Versuche sind folgende, aus denen die Richtigkeit des oben ausgesprochenen Satzes hervorgeht.

| Strom des langen Magnets. | Strom des kurzen Magnets. | Summe der Tangenten des Ablenkungswinkels. | Anziehung in Grammes. |
|---|---|---|---|
| tang 5°,5 = 0,0875 | tang 12° = 0,2125 | 0,3 | 327,337 |
| tang 8° = 0,1406 | tang 13° = 0,2309 | 0,3715 | 467,711 |
| tang 11°,25 = 0,1989 | tang 17° = 0,3057 | 0,5046 | 886,650 |
| tang 15° = 0,2679 | tang 18°,5 = 0,3346 | 0,6026 | 1356,36. |

Dub, Jacobi und Lenz haben auch die Anziehung zwischen Hufeisenelektromagneten und weichem Eisen geprüft. Der erste der genannten Physiker bediente sich bei seinen Versuchen einer Art römischen Wage, an deren kurzem Arme der Anker aufgehängt war, während auf dem langen sich das Laufgewicht befand. Der Anker bestand in einem sorgfältig abgedrehten Eisencylinder, zwischen dem und den Polflächen des Elektromagnets ein Stück glattes Papier lag. Die Stromstärke ward mittelst einer Tangentenbussole gemessen. Die Resultate, welche Dub mit vier Hufeisenelektromagneten von 2,61 Centimeter Dicke, und 31,38 Cent.; 23,53 Cent.; 15,69 Cent.; 10,46 Cent. langen Schenkeln erhält, deren Achsen 6,83 Cent. von einander entfernt waren und von denen das erste Hufeisen mit 31,38 Cent. langen Schenkeln 648, das mit 23,53 Cent. langen 440, das mit 15,69 Cent. langen 312 und das mit 10,46 Cent. langen 208 Spiralwindungen trug, finden sich hier unten zusammengestellt.

| Ablenkung. | Anziehung in Kilogrammes. Schenkellänge 31,30 Cent. | Schenkellänge 23,53 Cent. | Schenkellänge. 15,69 Cent. | Schenkellänge 10,46 Cent. |
|---|---|---|---|---|
| 4° | 0,60802 Kilogr. | 0,28062 Kilogr. | 0,18708 Kilogr. | 0,070156 Kilog. |
| 8° | 2,33855 „ | 1,21604 „ | 0,65479 „ | 0,30401 „ |
| 12° | 6,08024 „ | 2,80626 „ | 1,73053 „ | 0,79511 „ |
| 15°,5 | 9,58807 „ | 5,49002 „ | 3,28043 „ | 1,45636 „ |
| 19° | 14,96675 „ | 6,82858 „ | 4,86419 „ | 2,05793 „ |
| 23° | 21,04699 „ | 10,28964 „ | 7,48337 „ | 3,27397 „ |
| 26° | — „ | 14,73289 „ | 9,82193 „ | 5,20940 „ |
| 29° | — „ | 18,80198 „ | 12,16048 „ | 5,61253 „ |

Die vergleichende Zusammenstellung zeigt, daß die erhaltenen Gewichte sich wie die Quadrate der Zahlen verhalten, welche die Stromstärke ausdrücken.

Die Anziehung ist in allen Fällen, in denen nicht Sättigung vorhanden ist, dem Quadrate der Stromstärke proportional; dagegen weicht die Tragkraft von dieser Proportionalität ab und wächst in einem Verhältniß, welches zwischen dem einfachen und dem quadratischen der Stromstärke liegt, doch mehr dem letztern sich nähert. Als Belege für die Richtigkeit dieser Aussage mögen nachstehende von Dub unternommene Versuche dienen. Die erste Versuchsreihe wurde mit einem cylindrischen Eisenstab von 31,38 Centimeter Länge und 3,922 Centimeter Durchmesser ausgeführt, der als Eisenkern des Elektromagnets mit 336 Drahtwindungen seiner ganzen Länge nach bedeckt war. Der Elektromagnet wirkte auf eine Kugel aus weichem Eisen von 3,922 Centimeter Durchmesser, wobei der Strom von 4° bis 40° Ablenkung an der Tangentenbussole gesteigert wurde. — Die zweite Versuchsreihe ward mit demselben Elektromagnete bei den nämlichen Strömen mit einem cylindrischen Anker von 10,46 Centimeter Länge und 1,31 Centimeter Durchmesser vorgenommen.

Die mit der Kugel und dem cylindrischen Anker erhaltenen Resultate finden sich hier unten zusammengestellt.

| Ablenkung. | Tangenten. | Tragkraft in Kilogrammes mit der Kugel. | Tragkraft in Kilogrammes bei dem Anker. |
|---|---|---|---|
| 4° | 0,0699 | 0,14031 Kilogr. | — Kilogr. |
| 8° | 0,1405 | 0,32739 „ | 0,35078 „ |
| 12° | 0,2125 | 0,58464 „ | 0,86526 „ |
| 19° | 0,3433 | 1,02896 „ | 1,96438 „ |
| 23° | 0,4244 | 1,40959 „ | 2,80626 „ |
| 29° | 0,5543 | 1,63698 „ | 5,02232 „ |
| 32° | 0,6248 | 2,43209 „ | 5,19159 „ |
| 40° | 0,8391 | 3,46105 „ | 7,48337 „ |

Die über die Tragkraft der Hufeisenelektromagnete angestellten Versuche haben gezeigt, daß dieselbe zwar in einem stärkeren Verhältniß als der Strom wächst, indessen keineswegs in quadratischem, mithin die Tragkraft der Hufeisen demselben Gesetze folgt, wie die Tragkraft der geraden Elektromagnete, was aus folgender Tabelle ersichtlich ist.

| Ablenkungen $\alpha$. | Tangente $\alpha$. | Tragkraft T in Kilogrammes. |
|---|---|---|
| 4° | 0,06993 | 6,78181 |
| 6° | 0,16510 | 11,22506 |
| 8° | 0,14054 | 16,04248 |
| 12° | 0,21256 | 32,80435. |

Diese Versuche waren mit einem 2,61 Centimeter dicken Hufeisen mit 15,69 Centimeter langen Schenkeln mittelst eines flachen Ankers vorgenommen.

## 2. Einfluß der Spirale.

Die größere oder geringere Dicke der Drähte einer elektromagnetischen Spirale ist bei gleicher Stromstärke und bei gleicher Anzahl von Windungen ohne Einfluß auf den Magnetismus. Für die Richtigkeit dieses Satzes sprechen folgende von Lenz und Jacobi angestellte Versuche. Sie umgaben erstens einen Eisencylinder von 20,92 Centimeter Länge und 3,922 Centimeter Dicke der ganzen Länge nach mit einer Spirale, welche als Inductionsspirale mit einem Multiplicator verbunden war. Hierüber wickelten sie eine zweite Spirale, deren Durchmesser 1,5 Millimeter hatte, in den Zwischenräumen der Windungen aber einen dünnen Draht von 1/5 Millimeter Durchmesser. Die Anzahl der Windungen war in beiden Spiralen die nämliche. Durch jede dieser Spiralen wurde dann nach einander ein Strom von gleicher Stärke geleitet, der an der Wage 200 Milligrammes zum Maß hatte. Beim Aufheben des Stromes entstand durch Verschwinden des Magnetismus ein Inductionsstrom, welcher sowohl bei der Spirale von dickem Drahte wie bei der Spirale von dünnem Drahte am Multiplicator eine Ablenkung von 11°,6 bewirkte. — Bei einem andern Versuche wanden sie über die Mitte des oben erwähnten Eisencylinders, der ganz mit einer Inductionsspirale umgeben war, einen auf beiden Seiten mit Band beklebten Kupferstreifen von 625 Centimeter Länge, 2,61 Cent. Breite und 0,6 Millimeter Dicke in 21 Windungen spiralförmig übereinander, und mit ihm zugleich einen dünnen Kupferdraht von 1,5 Millimeter Durchmesser. Hierauf wurde ein mit 600 Milligrammes an der Wage gemessener Strom nach einander durch die Spirale von dünnem Draht und die Spirale von Kupferblech geleitet. Die am Multiplicator beobachtete Ablenkung betrug in dem einen wie in dem andern Falle 13°,2.

Im Allgemeinen hat die Weite der Windungen auf den erregten Magnetismus keinen Einfluß, welchem Gesetze um so vollständiger Genüge geschieht, je länger der Eisenkern im Verhältniß zur Länge der Spirale ist. Lenz und Jacobi haben das fragliche Gesetz auf folgende Weise geprüft. Einen Eisencylinder von 20,92 Centimeter Länge und 3,92 Centimeter Dicke umgab eine Inductionsspirale von 79 Windungen, welche mit einem Multiplicator verbunden war. Hierauf wurden nach einander sechs Spiralen von verschiedenem Durchmesser, deren jede 79 Windungen hatte, über die Inductionsspirale geschoben, alsdann derselbe mittelst der Wage gemessene Strom von 500 Milligrammes durch alle Spiralen geleitet und der durch den Inductionsstrom beim Verschwinden erregte Magnetismus ermittelt. Nachstehende Tabelle enthält die zusammengehörigen Beobachtungen:

| Durchmesser der Spiralen in Centimeter. | Ablenkung $\alpha$. | Magnetismus $= \sin \frac{1}{2} \alpha$. |
|---|---|---|
| 5,23 | $15^0,32$ | 0,133 |
| 6,01 | $15^0,02$ | 0,131 |
| 6,79 | $14^0,82$ | 0,129 |
| 7,55 | $14^0,35$ | 0,125 |
| 8,61 | $13^0,92$ | 0,121 |
| 9,65 | $14^0,00$ | 0,122 |

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, daß die im Eisenkern erzeugten Magnetismen ein wenig an Kraft abnehmen, wenn die Spiralen weiter sind. Diese Abnahme ist jedoch nur eine geringe Größe, indem sich bei einem Durchmesser von 5,23 Centimeter bis 9,65 Centimeter der erregte Magnetismus blos um $^{11}/_{133}$ oder $^{1}/_{12}$ sich verringert. — Bei Anwendung einer 94,14 Centimeter langen Eisenstange statt des 20,92 Centimeter langen Eisencylinders ergab sich eine bedeutend geringere Differenz der Wirkung.

Um den Einfluß der Anzahl der Windungen auf den erregten Magnetismus kennen zu lernen, bedienten sich Lenz und Jacobi des vorhin beschriebenen Apparates mit den sieben übereinander gewundenen Spiralen, wovon die untere den 20,92 Centimeter langen und 3,92 Centimeter dicken Eisenkern als Inductionsspirale mit dem eingeschalteten Multiplicator umgab. Durch die übrigen wurde ein Strom, der nach Angabe der Wage 500 Milligrammes maß, dergestalt geleitet, daß er vorerst eine, dann zwei u. s. w. und zuletzt alle sechs Spiralen durchlief. In der folgenden Tabelle finden sich die Summen dieser verschiedenen Einwirkungen:

| Magnetisirende Spiralen. | Ablenkungen. |
|---|---|
| I | $15^0,92$ |
| I + II | $31^0,52$ |
| I + II + III | $47^0,57$ |
| I + II + III + IV | $63^0,47$ |
| I + II + III + IV + V | $82^0,40$ |
| I + II + III + IV + V + VI | $103^0,20$. |

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß die Totalwirkung sämmtlicher einen Eisenkern umgebender Windungen der Summe der Wirkungen der einzelnen Windungen gleich kommt.

Da der Einfluß der Windungszahl auf eine dem der Stromstärke ganz analoge Weise zur Geltung kommt, so muß die Anziehung der Elektromagnete dem Quadrate der Anzahl der Windungen der Spirale, dagegen die Tragkraft nicht genau dem Quadrat der Zahl der Windungen proportional sich zeigen. Zur Bestätigung dieses Satzes mögen folgende zwei von Dub angestellte Versuche angeführt werden. Bei dem einen be-

diente man sich eines 31,38 Centimeter langen und 2,61 Centimeter dicken Eisenkernes und eines halb so langen, fast gleichen dicken Ankers. Die Spirale bestand aus zwei neben einander liegenden Drähten, so daß der Strom durch die halbe und ganze Anzahl der Windungen geleitet werden konnte. Der Strom gab eine Ablenkung von 19°. Die Tragkraft betrug bei der einfachen Windungszahl 205,8 Grammes; bei der doppelten Windungszahl 701,5 Grammes. Für die Anziehung ergab sich, wenn zwischen Anker und Polfläche ein dünnes Blatt Papier gelegt wurde, bei der einfachen Windungszahl 46,771 Grammes; bei der doppelten Windungszahl 187,08 Grammes. — Bei dem andern Versuche wurde ein Hufeisen angewandt, welches 15,69 Centimeter lange Schenkel von 2,61 Centimeter Durchmesser hatte; der Anker war ein Cylinder von gleichem Durchmesser wie der Kern. Die Spirale bestand abermals aus zwei nebeneinander liegenden Drähten, so daß der Strom durch beide Drähte oder nur durch einen derselben geleitet werden konnte. Zwischen Hufeisen und Anker war wieder ein Stück Papier gelegt. Die Anziehung betrug bei der einfachen Windungszahl 514,4 Grammes und bei der doppelten Windungszahl 2057,6 Grammes.

Soll jedoch der Magnetismus der Windungszahl proportional sein, so müssen sämmtliche Windungen einerlei Lage zu dem wirksamen Pole haben. Wenn dem nicht so ist, gestaltet sich die Sache anders, wie folgende von Dub erhaltene Resultate nachweisen. Er legte hintereinander auf einen 31,38 Centimeter langen, 2 Centimeter dicken Eisenkern 1, 2, 3 und 4 Spiralen, deren jede 56 Windungen und 2 Centimeter Länge hatte. Der Strom wurde so geregelt, daß er eine Ablenkung von 20° an der Tangentenbussole hervorbrachte, mochte er eine oder alle 4 Spiralen durchlaufen. Es ergaben sich nachstehende Werthe:

| | 1 Spirale. | 2 Spiralen. | 3 Spiralen. | 4 Spiralen. |
|---|---|---|---|---|
| Tragkraft. | Grammes. | Grammes. | Grammes. | Grammes. |
| | 116,92 | 654,78 | 864,24 | 1403,1 |
| Anziehung bei einem zwischen Anker und Magnetfläche gelegten Stücke Papier. | 46,77 | 149,96 | 313,36 | 467,71 |

Aus demselben geht hervor, daß sowohl der erregte Magnetismus wie Anziehung und Tragkraft in einem andern Verhältniß zunehmen, wenn die Spiralen hintereinander liegen, als wenn sie in gleichem Abstande vom Pole sich befinden.

Es wirft sich hiernach die Frage auf, zu untersuchen, in welchem Verhältnisse der Magnetismus sich zeigt, wenn man eine und dieselbe Spirale auf verschiedene Stellen des Eisenkernes bringt. Um darüber zu entscheiden, bedeckte Dub einen 31,38 Centimeter langen, 2,61 Centimeter dicken Eisenkern mit einer 2 Centimeter langen Spirale und beobachtete die Ablenkung einer frei schwebenden Magnetnadel, wenn die Spirale

immer weiter von dem Magnetende entfernt wurde, während die Längsachse des Kerns senkrecht auf dem magnetischen Meridian und der Mittelpunkt der Nadel in der Verlängerung jener Achse lag. Die Ablenkungen der Nadel waren bei constanter Stromstärke nach Abzug der Wirkung der Spirale ohne Kern folgende:

| Abstand der Spirale vom wirksamen Magnetende. | Ablenkung der Magnetnadel. |
|---|---|
| 0,65 Centimeter | 29° |
| 5,22 " | 36° 15′ |
| 8,49 " | 34° 15′ |
| 14,38 " | 33° 30′. |

Der Magnetismus nimmt also bei Entfernung derselben Spirale vom wirksamen Polende bis zu einer bestimmten Grenze zu. — Dieselbe Erscheinung hat man auch hinsichtlich der Anziehung und Tragkraft wahrgenommen, wie die hier unten mitgetheilten, von Dub ebenfalls angestellten Versuche zeigen.

Genannter Physiker umgab einen 95,14 Centimeter langen, 2,61 Centimeter dicken Eisencylinder mit 9 Spiralen, deren jede 2 Centimeter lang war. Hierauf ließ er zuerst durch alle 9 Spiralen einen Strom gehen, dessen Stärke mittelst der Tangentenbussole gemessen wurde. Alsdann ward die von dem Pole am entferntesten liegende Spirale ausgeschaltet und der Strom in der Weise erhöht, daß das Produkt aus Stromstärke und Windungszahl dem frühern Produkte gleich blieb; dergestalt hatte man eine Spirale, welche so auf den Kern wirkte, wie wenn Strom und Windungen die nämlichen geblieben wären und die Spirale nach dem Pole hin um 1/9 zusammengehäuft würde. In ähnlicher Weise wurden 2, 3 . . . Spiralen ausgeschaltet und so Wirkungen hervorgebracht, wie wenn eine Spirale vorhanden gewesen wäre, deren Windungen mehr und mehr an dem Pole angehäuft. Die bei den Versuchen angewandten Spiralen nebst entsprechenden Stromstärken finden sich hier unten zusammengestellt:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 Spir. | = 504 | Windungen | mit 13° 38′ | = $\alpha$ Stromstärke; | tg $\alpha$ | = 0,24254. |
| 8 " | = 472 | " | " 15° 16′ | " | " | = 0,27294. |
| 7 " | = 392 | " | " 17° 19′ | " | " | = 0,31178. |
| 6 " | = 336 | " | " 20° | " | " | = 0,36397. |
| 5 " | = 280 | " | " 23° 16′ | " | " | = 0,42998. |
| 4 " | = 224 | " | " 28° 38′ | " | " | = 0,54597. |
| 3 " | = 168 | " | " 36° 3′ | " | " | = 0,72788. |
| 2 " | = 112 | " | " 47° 27′ | " | " | = 1,08940. |
| 1 " | = 56 | " | " 65° 24′ | " | " | = 2,18419. |

Mittelst der in allen Fällen sich gleichbleibenden magnetisirenden Kraft ergaben sich mit einem 15,69 Centimeter langen und 2,61 Centimeter dicken Anker folgende Resultate der Tragkraft und der Anziehung:

| Tragkraft. | 9 Spir. | 8 Spir. | 7 Spir. | 6 Spir. | 5 Spir. | 4 Spir. | 3 Spir. | 2 Spir. | 1 Spir. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| In Kilogramm. | 1,6837 | 1,9644 | 2,2450 | 2,4321 | 2,6659 | 2,9665 | 3,2272 | 3,5546 | 3,0869 |
| Anziehung bei zwischen gelegtem dünnen Papier | 0,5238 | 0,6781 | 0,7483 | 0,7951 | 0,9354 | 1,1692 | 1,2862 | 1,4499 | 1,1225 |
| Anziehung bei dickerem Papier | 0,4303 | 0,5378 | 0,6080 | 0,6781 | 0,7577 | 0,4677 | 1,0289 | 1,0757 | 0,4677 |
| Anziehung bei noch dickerem Papier | 0,3741 | 0,4677 | 0,5145 | 0,5378 | 0,6548 | 0,7483 | 0,8185 | 0,8512 | 0,8185 |

Tragkraft und Anziehung nehmen mithin bis zu einer bestimmten Grenze zu, je mehr sämmtliche Spiralwindungen an dem Pole zusammengehäuft werden.

In ähnlicher Weise verfuhr Dub mit vier Hufeisen, deren ersteres 15,69 Centimeter lang und 2,61 dick; das zweite 15,69 Centimeter lang und 5,23 dick; das dritte 31,38 Centimeter lang und 2,61 dick; das vierte 31,38 Centimeter lang und 5,23 dick war. Auf jeden 15,69 Centimeter langen Schenkel konnten 3 Spiralen, deren jede eine Länge von 2 Centimeter hatte, gebracht werden; dagegen das 31,38 lange Hufeisen auf jeden Schenkel sechs dergleichen Spiralen faßte. Die Entfernung der Schenkel belief sich bei allen vier Hufeisen auf 9,15 Centimeter von Mitte zu Mitte. — Vorerst wurde der Strom durch alle zwölf Spiralen der langen Schenkel geleitet mit einer Stärke, welche die Nadel auf 5° ablenkte. Alsdann wurden die drei der Biegung des Hufeisens zunächst liegenden Spiralen ausgeschaltet und der Strom auf das Doppelte erhöht. Hierauf wurden bei allen vier Hufeisen auf jeden Schenkel zwei Spiralen gebracht und durch diese ein Strom geleitet, welche die Nadel der Tangentenbussole auf 15° ablenkte. Endlich blieb auf jedem Schenkel nur die dem Pol am nächsten liegende Spirale übrig; der durch dieselbe geführte Strom hatte eine Stärke, welche eine Ablenkung von 28° bewirkte. Bei gleicher magnetisirenden Kraft ergaben sich folgende Resultate:

| Windungen am Pol. | Strom. | Magnete. 1 Kilogr. | 2 Kilogr. | 3 Kilogr. | 4 Kilogr. |
|---|---|---|---|---|---|
| 672 | 5° | — | — | 0,84188 | 2,89980 |
| 336 | 10° | 0,93542 | 2,89980 | 1,02896 | 2,99334 |
| 224 | 15° | 1,07573 | 3,32075 | 1,12250 | 3,36752 |
| 112 | 28° | 1,26282 | 3,74815 | 1,26282 | 4,74169 |

Wir dürfen daher im Allgemeinen den Satz aussprechen: Anziehung und Tragkraft vergrößern sich sowohl bei geraden wie bei hufeisenförmigen Elektromagneten, je mehr die Spiralwindungen an dem Pole zusammengehäuft sind. Wenn der Satz aufhört gültig zu sein, so rührt dies meistens daher, daß der magnetische Sättigungszustand eingetreten ist.

### 3. Einfluß des Durchmessers des Eisenkernes.

Um den Einfluß kennen zu lernen, welchen die Dicke des Eisenkernes auf den in ihm erregten Magnetismus ausübt, umgaben Lenz und Jacobi nach einander mehrere gleichlange Eisencylinder von verschiedenem Durchmesser mit zwei übereinander liegenden Drahtspiralen, deren jede auf eine Hülse von Messingblech gewunden war. Die innere Spirale war auf dem dicksten Cylinder unmittelbar aufgeschoben, während die Cylinder von geringerem Durchmesser von Holzhülsen umgeben waren, um immer genau in der Achse der Spiralen erhalten zu werden. Die äußere Spirale wurde mit der Batterie, die innere mit dem Inductionsmultiplicator verbunden. Der constante Strom ward durch 1300 Milligrammes an der Wage bestimmt, dagegen der erregte Magnetismus dem Sinus des halben Ablenkungswinkels proportional ist. Die galvanische Spirale bewirkte für sich allein eine Ablenkung von 6° 42′. In der folgenden Tabelle sind die Resultate einiger dieser Beobachtungen zusammengestellt worden. Die erste Columne enthält die Durchmesser der Cylinder, 2,54 Centimeter als Einheit angenommen; die zweite das Verhältniß der Durchmesser nebst den Quadratwurzeln; die dritte die beobachteten Ablenkungswinkel $\alpha$; die vierte Columne die Magnetismen der verschiedenen Eisenkerne; die dritte Columne die Magnetismen der verschiedenen Eisenkerne $m = \sin \frac{1}{2} \alpha - \sin 3^0\, 21'$. Die fünfte Columne liefert den aus diesen Werthen berechneten Magnetismus unter der Voraussetzung, daß der doppelt so dicke Kern jederzeit einen um $^1/_{11}$ schwächern Magnetismus haben würde, wenn die Spiralen jeden Kern eng umschlössen. Die sechste enthält die Quotienten, welche sich ergeben aus der Division dieser Werthe durch die Wurzeln der Durchmesser, der Magnetismus des dünnsten Kerns als Einheit angenommen.

| Durchmesser der Cylinder d; 2,54 als Einheit angenommen. | | Verhältnisse der Durchmesser und Quadratwurzel derselben. | Ablenkungen $\alpha$. | $m = \sin \frac{1}{2} \alpha - \sin 3^0 21'$. | Magnetismus nach Abzug des Ueberschusses. | $\frac{m}{\sqrt{d}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\frac{1}{3}$ | 2 | 1,414 | 16° 44′ | 0,08707 | 0,08707 | 0,061567. |
| $\frac{1}{2}$ | 3 | 1,732 | 19° 34′ | 0,11148 | 0,10388 | 0,060289. |
| $\frac{2}{3}$ | 4 | 2 | 23° 10′ | 0,14235 | 0,12941 | 0,064705. |
| $\frac{5}{6}$ | 5 | 2,236 | 25° 1′ | 0,15800 | 0,14005 | 0,06263. |
| 1 | 6 | 2,45 | 26° 58′ | 0,17472 | 0,15091 | 0,06331. |
| $1\frac{1}{2}$ | 9 | 3 | 35° 24′ | 0,24559 | 0,19536 | 0,06512. |

Die Zahlen in der letzten Columne sind nahezu einander gleich, was uns annehmen läßt, daß bei massiven Eisencylindern von einerlei Länge, die durch galvanische Ströme von derselben Stärke und durch Spiralen von der nämlichen Anzahl von Windungen erregten Magnetismen den Durchmessern dieser Wurzeln proportional sind.

Dasselbe Gesetz gilt auch für den freien Magnetismus, was Dub auf folgende Weise dargethan hat. Er ließ einen Strom, der an der eingeschalteten Tangentenbussole eine Ablenkung von 20° hervorbrachte, durch eine Spirale gehen, welche auf einer 15,69 Centimeter weiten Hülse aufgewickelt war. Die Spirale hatte 610 Windungen und lag von West nach Ost, so daß ihre Längsachse verlängert durch die Mitte der in der Entfernung von 1,8 Meter aufgestellten Bussole ging. Die nacheinander in die Spirale eingeführten Eisenkerne waren 93,9 Centimeter lang und hatten 2,61; 5,23; 10,46; 15,63 Centimeter Durchmesser. Die Ablenkungen $\alpha$ wurden geprüft, welche die magnetisirten Stäbe auf die Magnetnadel ausübten. Die dabei erhaltenen Resultate finden sich in der unten stehenden Tabelle aufgezeichnet, in welcher d den Durchmesser des Eisenkernes, tang $\alpha$ die Tangente der durch denselben bewirkten Nadelablenkung und tang $\beta = 0{,}3202$ die Tangente der Ablenkung der Nadel bezeichnet, welche durch die Spirale allein hervorgebracht wird.

| Durchmesser d. | tang $\alpha$. | tang $\alpha$ — tang $\beta$. | $\frac{\text{tang}\,\alpha - \text{tang}\,\beta}{\sqrt{d}}$. |
|---|---|---|---|
| 2,61 Centimeter. | 0,35424 | 0,03404 | 0,02107 |
| 5,23 „ | 0,36418 | 0,04398 | 0,020187 |
| 10,46 „ | 0,3944 | 0,0742 | 0,022942 |
| 15,69 „ | 0,4092 | 0,0890 | 0,022511. |

Die in der letzten Columne stehenden Zahlen müßten einander gleich sein, wenn bei massiven Eisencylindern von einerlei Länge, die durch galvanische Ströme von gleicher Stärke und durch Spiralen von gleicher Windungszahl ertheilten Magnetismen den Quadratwurzeln der Durchmesser der Cylinder genau proportional wären. Wiewohl nun jene vier Zahlen keine vollständige Gleichheit zeigen, so kommen sie doch derselben ziemlich nahe, wie man sie unter den vorliegenden Verhältnissen nur erwarten kann.

Die beiden letzten gedachter Zahlen liegen schon einander näher als die beiden ersteren, was vermuthen läßt, daß die Abweichung von der Gleichheit dem Einfluß der verschiedenen Weite der Spirale im Verhältniß zu den Kerndurchmessern zuzuschreiben ist. Wir dürfen daher wohl folgenden von Müller, Jacobi, Lenz und Dub ausgesprochenen Satz als gültig ansehen. Der in massiven Eisencylindern von gleicher Länge durch galvanische Ströme von gleicher Stärke und durch Spiralen von gleicher Anzahl den Kern eng umschließender Windungen erregte Magnetismus ist den Quadratwurzeln der Durchmesser dieser Cylinder proportional. — Dasselbe Gesetz hat sich ebenfalls für Hufeisen von gleicher Länge als richtig bewährt, wie die von Dub ausgeführten Versuche zeigen. Die Hufeisen wurden einer Bussole dergestalt gegenüber gestellt, daß die Verlängerung der horizontalen Verbindungslinie der Mittelpunkt beider

Polflächen senkrecht auf den magnetischen Meridian durch den Mittelpunkt der Nadel ging. Auf diese Weise ergaben vier Hufeisenmagnete von 15,69 Centimeter Länge, von verschiedenem Durchmesser bei gleich magnetisirender Kraft nachstehende Ablenkungen:

| Durchmesser d. | Ablenkung $\alpha$. | tang $\alpha$. | $\frac{\text{tang } \alpha.}{\sqrt{d}.}$ |
|---|---|---|---|
| 1,95 Centimeter | 27⁰ | 0,5095 | 0,3650 |
| 2,61 " | 31⁰ | 0,6008 | 0,3716 |
| 3,92 " | 37⁰ | 0,7535 | 0,3799 |
| 5,23 " | 41⁰ | 0,8693 | 0,3794. |

Die dritte und vierte Zahl in der letzten Columne liegen einander näher als die beiden ersteren in derselben befindlichen Zahlen, worin wir abermals eine Bestätigung für die Richtigkeit der vorhin ausgesprochenen Vermuthung finden.

Da die Anziehung der Elektromagnete im quadratischen Verhältniß zu dem in ihnen erregten Magnetismus steht und letzterer unter sonst gleichen Umständen den Durchmessern der Eisenkerne proportional ist, so sollte man denken, daß die Anziehung den Durchmessern der Magnetkerne proportional wäre. Eine derartige Proportionalität hat jedoch nicht in allen Fällen Gültigkeit. — Betrachten wir zunächst gerade Stabelektromagnete, bei denen zu Ankern Kugeln genommen werden, deren Durchmesser gleich dem Durchmesser der Eisenkerne ist. Bei 31,38 Centimeter langen Stäben von verschiedenem Durchmesser, die auf ihrer ganzen Länge mit einer galvanischen Spirale von 312 Windungen bedeckt waren, erhielt Dub durch einen Strom, welcher die Nadel der Tangentenbussole auf 26⁰ ablenkte, folgende Resultate:

| Durchmesser der Magnete. | Anziehung. | Tragkraft. |
|---|---|---|
| 1,95 Centimeter | 0,14031 Kilogr. | 0,70220 Kilogr. |
| 2,61 " | 0,23449 " | 1,02896 " |
| 3,92 " | 0,31336 " | 1,50377 " |
| 5,23 " | 0,55368 " | 1,96438 " |

Diese Versuche lehren, daß im vorliegenden Falle sowohl Anziehung wie Tragkraft den Durchmessern der Eisenkerne proportional sind.

Gehen wir zu geraden Stabelektromagneten über, welche einen ihrem Durchmesser gleichen Anker haben. Mit drei gleich langen Elektromagneten von 1,31; 2,61; und 5,23 Centimeter Durchmesser fand Dub bei gleicher Stromstärke und Windungszahl beziehungsweise folgende Tragkraft: 2,1949 Kilogr.; 1,52709 Kilogr.; 1,3543 Kilogr. — Es zeigt sich also eine Abnahme der Tragkraft bei zunehmender Dicke von Magnet und Anker; ähnlich verhält es sich mit der Anziehung. Der Grund dieser

bedeutenden Abweichung von dem oben ausgesprochenen Verhältniß rührt von dem beträchtlichen Einfluß her, den Magnet und Anker aufeinander ausüben; ein Einfluß, welcher sich bei gleicher Magnetfläche mit der Form und Masse des Ankers verschiedenartig äußert, wie dies an späterer Stelle ausführlicher zur Sprache kommen wird.

Bei Hufeisenelektromagneten sind Anziehung und Tragkraft den Durchmessern der Magnetkerne proportional, soweit der Einfluß derselben ungetrübt zu Tage treten kann, wie beispielsweise die hier unten angeführten Versuche zeigen mögen. Bei einer Stromstärke von 10° bekam man mit 15,69 Centimeter langen Hufeisen von 1,95; 2,61; 3,922; 5,23 Centimeter Durchmesser, wenn zwischen Anker und Magnet ein starkes Papier gelegt wurde, beziehungsweise folgende Anziehung: 0,18921 Kilogramm; 0,3269 Kilogr.; 0,5137 Kilogr.; 0,7372 Kilogr. — Mit zwei Hufeisen von 2,61 und 5,23 Centimeter Durchmesser, deren Schenkel 31,38 Centimeter lang waren, fand man, wenn kein Papier dazwischen gelegt wurde, bezüglich eine Tragkraft von 2,144 Kilogr.; 4,288 Kilogr. Bei den beiden letzteren Versuchen waren an die cylinderförmigen Anker sphärische Eisenstücke angeschraubt, wonach der Anker den Magneten an jedem Pole in einem Punkte berührte.

## 4. Einfluß der Länge des Eisenkernes.

Um die Vertheilung des erregten Magnetismus in den verschiedenen Querschnitten der Elektromagnete zu prüfen, umgaben Lenz und Jacobi verschiedene gut abgedrehte Eisenstäbe von 4,5 Centimeter Durchmesser, welche 30,48 bis 121,92 Centimeter lang waren, ihrer ganzen Länge nach mit einer galvanischen Spirale, dergestalt, daß die Zahl ihrer Windungen mit der Länge zunahm. Hierauf bewegten sie eine 2,54 Centimeter lange Inductionsspirale von 2,54 zu 2,54 Centimeter über den Elektromagneten hinweg und maßen mittelst des Inductionsmultiplicators an jeder Stelle den in der Inductionsspirale nach der Unterbrechung des Stromes hervorgerufenen Inductionsstrom und damit auch den erregten Magnetismus. Die Beobachtungen, wie solche an vier Eisenstäben bei der nämlichen an einer Tangentenbussole gemessenen Stromstärke gemacht worden, finden sich in den vier hier unten stehenden Tabellen aufgezeichnet. Die Ueberschriften der einzelnen Columnen geben die Bedeutung der darin enthaltenen Zahlen an. In der ersten Columne, welche den Abstand x der Mitte der Inductionsspirale vom Ende des Stabes angibt, ist 1,27 Centimeter als Einheit angenommen.

## Tabelle I.

Länge des Stabes = 30,48 Centimeter. Die Anzahl der Windungen war 153.

| Abstände x. | Halber beobachteter Ablenkungswinkel $\frac{\alpha}{2}$. | Magnetismus des Eisenkernes $m = \sin\frac{\alpha}{2}$. | $\frac{m}{\sqrt{x}}$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 1° 27′ | 0,02530 | 0,02530 |
| 3 | 2° 32′,9 | 0,04416 | 0,02549 |
| 5 | 3° 10′,12 | 0,05528 | 0,02472 |
| 7 | 3° 37′,5 | 0,06322 | 0,02388 |
| 9 | 3° 56′,25 | 0,06867 | 0,02289 |
| 11 | 4° 5′,5 | 0,07139 | 0,02152 |
| | | 0,32802 | |

Für den Magnetismus in der Mitte betrug $\frac{\alpha}{2} = 4^0\,6',75$; $m = \sin\frac{\alpha}{2} =$ 0,07171.

## Tabelle II.

Länge des Stabes = 45,72 Centimeter. Die Anzahl der Windungen betrug 228.

| Abstände x. | Halber beobachteter Ablenkungswinkel $\frac{\alpha}{2}$. | Magnetismus des Eisenkernes $m = \sin\frac{\alpha}{2}$. | $\frac{m}{\sqrt{x}}$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 2° 4′,5 | 0,03621 | 0,03621 |
| 3 | 3° 38′,6 | 0,06354 | 0,03668 |
| 5 | 4° 45′,75 | 0,08301 | 0,03707 |
| 7 | 5° 40′,5 | 0,09888 | 0,03737 |
| 9 | 6° 21′,75 | 0,11081 | 0,03693 |
| 11 | 6° 53′,6 | 0,12001 | 0,03618 |
| 13 | 7° 20′,25 | 0,12771 | 0,03542 |
| 15 | 7° 35′,6 | 0,13213 | 0,03411 |
| 17 | 7° 46′,2 | 0,13518 | 0,03278 |
| | | 0,90748 | |

Für den Magnetismus in der Mitte betrug $\frac{\alpha}{2} = 7^0\,45'$; $m = \sin\frac{\alpha}{2} =$ 0,13485.

## Tabelle III.

Länge des Stabes = 60,96 Centimeter. Die Anzahl der Windungen war 303.

| Abstände x. | Halber beobachteter Ablenkungswinkel $\frac{\alpha}{2}$. | Magnetismus des Eisenkernes $m = \sin\frac{\alpha}{2}$. | $\frac{m}{\sqrt{x}}$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 2° 36′,75 | 0,04557 | 0,04557 |
| 3 | 4° 35′,2 | 0,07997 | 0,04617 |
| 5 | 6° 3′,7 | 0,10559 | 0,04716 |

| Abstände x. | Halber beobachteter Ablenkungswinkel $\frac{\alpha}{2}$. | Magnetismus des Eisenkernes $m = \sin\frac{\alpha}{2}$. | $\frac{m}{\sqrt{x}}$ |
|---|---|---|---|
| 7 | 7° 8',4 | 0,12717 | 0,04806 |
| 9 | 8° 27',4 | 0,14706 | 0,04902 |
| 11 | 9° 14' | 0,16040 | 0,04836 |
| 13 | 10° 3,7' | 0,17470 | 0,04845 |
| 15 | 10° 42' | 0,18569 | 0,04794 |
| 17 | 11° 11' | 0,19412 | 0,04708 |
| 19 | 11° 38' | 0,20178 | 0,04629 |
| 21 | 11° 53' | 0,20608 | 0,04497 |
| 23 | 12° 2' | 0,20867 | 0,04351 |
| | | 1,83680 | |

Für den Magnetismus in der Mitte ist $\frac{\alpha}{2} = 12^0 0',7$; $m = \sin\frac{\alpha}{2} = 0,20811$.

## Tabelle IV.

Länge des Stabes = 76,2 Centimeter. Die Anzahl der Windungen war 377.

| Abstände x. | Halber beobachteter Ablenkungswinkel $\frac{\alpha}{2}$. | Magnetismus des Eisenkernes $m = \sin\frac{\alpha}{2}$. | $\frac{m}{\sqrt{x}}$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 3° 10' | 0,05524 | 0,05524 |
| 3 | 6° 1' | 0,10474 | 0,06046 |
| 5 | 7° 21' | 0,12798 | 0,05716 |
| 7 | 8° 56' | 0,15534 | 0,05871 |
| 9 | 10° 19' | 0,17909 | 0,05969 |
| 11 | 11° 25' | 0,19789 | 0,05966 |
| 13 | 12° 39' | 0,21899 | 0,06073 |
| 15 | 13° 26' | 0,23226 | 0,05996 |
| 17 | 14° 22' | 0;24813 | 0,06018 |
| 19 | 14° 59' | 0,25857 | 0,05932 |
| 21 | 15° 34' | 0,26836 | 0,05856 |
| 23 | 16° 4' | 0,27678 | 0,05782 |
| 25 | 16° 21' | 0,28150 | 0,05630 |
| 27 | 16° 40' | 0,28690 | 0,05521 |
| 29 | 16° 48' | 0,28893 | 0,05365 |
| | | 3,18070 | |

Für den Magnetismus in der Mitte ist $\frac{\alpha}{2} = 16^0 42$; $m = \sin\frac{\alpha}{2} = 0,28736$.

Die einzelnen in den mit $\frac{m}{\sqrt{x}}$ überschriebenen Columnen aufgeführten Werthe weichen wenig von einander ab, was uns berechtigt zu sagen: der in jedem

Querschnitte eines seiner ganzen Länge nach mit der galvanischen Spirale bedeckten Eisencylinders erregte Magnetismus ist der Quadratwurzel aus der Entfernung des Querschnittes vom nächsten Pole proportional.

Der in der Mitte eines Stabes erregte Magnetismus ist der Quadratwurzel aus der Länge des Stabes proportional. Zu dieser Folgerung führen uns abermals die von Jacobi und Lenz angestellten Messungen, wie aus nachstehender Tabelle hervorgeht:

| Länge der Stäbe l, 30,48 Centimeter als Einheit angenommen. | Erregter Magnetismus $m = \sin\frac{\alpha}{2}$ | Werthe von $\frac{m}{l}$ | Werthe von $\frac{m}{l\sqrt{l}}$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,07171 | 0,07171 | 0,07171 |
| $1\frac{1}{2}$ | 0,13485 | 0,08990 | 0,07340 |
| 2 | 0,20811 | 0,10405 | 0,07357 |
| $2\frac{1}{2}$ | 0,28736 | 0,11494 | 0,07267. |

Die zweite Columne enthält die Werthe wie sie am Ende der einzelnen mit m überschriebenen Columnen der vier oben mitgetheilten Tabellen stehen: es sind die Werthe für den Magnetismus der Mitte der Stäbe. Die dritte Columne gibt das Verhältniß der Magnetismen an, insofern alle Stäbe mit einerlei Windungszahl umgeben wären. Nehmen wir wieder die Zahlen der vierten Columne als gleich an, was wegen ihrer geringen Verschiedenheit geschehen kann; so wäre damit die Richtigkeit der oben ausgesprochenen Behauptung dargethan.

Addiren wir die in den einzelnen mit m überschriebenen Columnen der vier obigen Tabellen enthaltenen Zahlen, so bekommen wir durch Verdopplung jener einzelnen Summen den Werth für den erregten Magnetismus der ganzen Stäbe. In der zweiten Columne nachstehender Tabelle sind die fraglichen Summen angegeben:

| Länge der Stäbe l, 30,48 Centimeter wieder als 1 angenommen. | Gesammt erregter Magnetismus M. | $\frac{M}{l^2}$ | $\frac{M}{l^2\sqrt{l}}$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,65604 | 0,65604 | 0,65604 |
| $1\frac{1}{2}$ | 1,81496 | 0,80649 | 0,65849 |
| 2 | 3,67360 | 0,91840 | 0,64948 |
| $2\frac{1}{2}$ | 6,36140 | 1,01382 | 0,64120. |

Die dritte Columne enthält den in den ganzen Stäben erregten Magnetismus, wenn sie ihrer ganzen Länge nach mit der galvanischen und einer gleichlangen Inductionsspirale umgeben wären, während die vierte die Quotienten aus diesen Magnetismen durch die Quadratwurzeln der Länge angibt. Da jene Zahlen wieder ziemlich nahe aneinander liegen und die kleinen Abweichungen aller Wahrscheinlichkeit nach Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden können, so dürfen wir wieder sagen: der erregte Mag-

netismus verschieden langer Eisenstäbe, die auf ihrer ganzen Länge mit der nämlichen Kraft magnetisirt sind, ist den Quadratwurzeln der Länge der Stäbe proportional.

Um den freien Magnetismus verschieden langer Stabelektromagnete zu prüfen, ließ Dub die Magnete, welche mit ihrer Längsachse genau senkrecht gegen den magnetischen Meridian lagen, auf eine an einem Coconfaden hängende Magnetnadel wirken. Die Resultate, welche er bei einer Versuchsreihe mit vier Eisenkernen von verschiedener Länge und 2,61 Centimeter Durchmesser gefunden hat, die in eine 15,69 Centimeter lange Spirale mit 156 Windungen eingeführt worden, enthält die nächstfolgende Tabelle. Die Entfernung des nächsten Poles von der Mitte betrug 54,71 Centimeter, während die angewandte Stromstärke an der Nadel der Tangentenbussole eine Ablenkung von 20° bewirkte. Bei den gegebenen Graden der Nadelablenkung ist die durch die Spirale allein hervorgebrachte Ablenkung abgezogen.

| Länge der Magnete. | Ablenkungen $\alpha$. | tang $\alpha$. |
|---|---|---|
| 15,69 Centimeter | $9\frac{1}{2}$° | 0,16734 |
| 23,53 „ | $14\frac{1}{2}$° | 0,25033 |
| 31,38 „ | 20° | 0,36397 |
| 39,15 „ | $21\frac{1}{2}$° | 0,39391. |

Die letzte Reihe zeigt eine Zunahme mit der Länge der Eisenkerne. Diese Zunahme ist geringer als die Länge der Kerne, aber größer als die Quadratwurzeln derselben. — Aehnliche Resultate ergab eine Versuchsreihe mit Kernen von verschiedener Länge, bei denen die nämliche magnetisirende Kraft über die ganze Länge derselben ausgebreitet ward, wie aus der untenstehenden Tabelle zu ersehen ist:

| Länge der Magnete. | Ablenkungen $\alpha$. | tang $\alpha$. |
|---|---|---|
| 15,69 Centimeter | 19° | 0,34433 |
| 23,53 „ | $26\frac{1}{2}$° | 0,49858 |
| 31,38 „ | $31\frac{1}{4}$° | 0,60681 |
| 39,15 „ | $34\frac{1}{4}$° | 0,68088. |

Dagegen ist der freie Magnetismus von Stabmagneten, deren Pole gleich weit von einander entfernt bleiben, den Quadratwurzeln der Stablängen proportional, wenn die Kerne ihrer ganzen Länge nach mit einer galvanischen Spirale bedeckt sind, die von dem nämlichen Strome durchflossen wird. Dub stellte vier 2,61 Centimeter dicke Hufeisen, deren Schenkelachsen 13,05 Centimeter von einander entfernt waren, mit den Polen nach unten in der Weise auf, daß die Pole sich in gleicher Höhe mit der Nadel befanden und ihre Verbindungslinie genau senkrecht gegen den magnetischen Meridian stand. Mit jenen Stäben erhielt er folgende Resultate, wenn sie auf ihrer ganzen Länge mit gleicher Kraft magnetisirt wurden.

| Gesammtlänge l der Stäbe, 2,61 Centim. als Einheit angenommen. | Ablenkung α der Nadel bei dem Abstande des nächsten Poles von 54,71 Centimeter. | tang α. | $\frac{\text{tang } \alpha}{\sqrt{l}}$ |
|---|---|---|---|
| 13 | $19^0 \frac{1}{2}$ | 0,35412 | 0,0982 |
| 17 | $22^0 \frac{1}{4}$ | 0,40911 | 0,0991 |
| 23 | $25^0$ | 0,46631 | 0,0972 |
| 29 | $28^0$ | 0,53171 | 0,0987. |

Die geringe zwischen den Zahlen der letzten Columne bestehende Ungleichheit spricht für die Richtigkeit des oben ausgesprochenen Satzes.

Wir wollen nun die Resultate der Versuche mittheilen, welche Dub über die Anziehung und Tragkraft der Elektromagnete von verschiedener Länge erhalten hat. Zunächst soll von den geraden Elektromagneten die Rede sein. Die in den mit Anziehung überschriebenen Columnen stehenden Zahlen wurden erhalten, wenn zwischen Anker und Magnet ein Blättchen Papier gelegt war. — Die erste Versuchsreihe bezieht sich auf verschiedene lange Eisenkerne von 2,61 Centimeter Durchmesser, bei denen eine Eisenkugel von 2,61 Centimeter Durchmesser als Anker diente.

| Länge der Magnete, 2,61 als Einheit angenommen. | Tragkraft in Kilogrammes. | Anziehung in Kilogrammes. |
|---|---|---|
| 6 | 0,88865 | 0,43497 |
| 12 | 0,91204 | 0,42094 |
| 18 | 0,84188 | 0,37417 |
| 24 | 0,84188 | 0,37417. |

Die zweite Versuchsreihe bezieht sich auf die oben angewandten Magnete mit einem 15,69 Centimeter langen cylindrischen Anker von 2,61 Centimeter Durchmesser als Anker.

| Länge der Magnete, 2,61 wieder als Einheit angenommen. | Tragkraft in Kilogrammes. | Anziehung in Kilogrammes. |
|---|---|---|
| 6 | 1,96438 | 0,65479 |
| 12 | 2,10469 | 0,65479 |
| 18 | 2,10469 | 0,63140 |
| 24 | 2,05792 | 0,65479. |

Aus beiden Versuchsreihen geht hervor, daß in gewissen Fällen die Länge der Elektromagnete keinen Einfluß auf die Anziehung ausübt.

Die dritte Versuchsreihe betrifft die Anziehung und Tragkraft bei gleicher Länge und Dicke von Magnet und Anker.

| Länge der Magnete und Anker, 2,61 abermals als Einheit zu Grunde gelegt. | Tragkraft in Kilogrammes. | Anziehung in Kilogrammes. |
|---|---|---|
| 6 | 1,96438 | 0,58463 |
| 12 | 3,88523 | 1,19265 |
| 18 | 5,42544 | 1,73053 |
| 24 | 7,24951 | 2,61917. |

Die vierte Versuchsreihe betrifft die Anziehung und Tragkraft verschiedener Systeme von Magneten und Anker, welche gleichen Durchmesser und deren Anker die halbe Länge des Magnets haben.

| Länge der Magnete. | Tragkraft in Kilogrammes. | Anziehung in Kilogrammes. |
|---|---|---|
| 6 | 0,935422 | 0,32739 |
| 12 | 1,87084 | 0,72494 |
| 18 | 3,18042 | 1,02896 |
| 24 | 4,67610 | 1,44990. |

Aus den beiden letzteren Versuchsreihen können wir den Schluß ziehen, daß bei gleicher magnetisirender Kraft die Anziehung den Längen der Magnete proportional ist, wenn die Anker in demselben Verhältniß wachsen.

Wir wollen Anker und Magnet als einen Stab ansehen und eine derartige Vereinigung mit Dub ein magnetisches System nennen. Die Resultate seiner Versuche, welche er mit drei Gruppen von Systemen angestellt hat, finden sich hier unten zusammengestellt:

System von 24 Einheiten Länge (die Einheit zu 2,61 Centimeter angenommen.

| Magnet. | Anker. | Tragkraft in Kilogr. | Anziehung in Kilogr. |
|---|---|---|---|
| 12 | 12 | 3,64813 | 1,19265 |
| 15 | 9 | 2,52563 | 0,93542 |
| 18 | 6 | 1,91761 | 0,56125 |
| 21 | 3 | 0,93542 | 0,29933 |

System von 36 Einheiten Länge (die Einheit = 2,61 Centim.).

| Magnet. | Anker. | Tragkraft in Kilogr. | Anziehung in Kilogr. |
|---|---|---|---|
| 18 | 18 | 5,42544 | 1,72052 |
| 24 | 12 | 3,83522 | 1,21604 |
| 30 | 6 | 2,01115 | 0,60802 |
| 35 | 1 | 0,28062 | 0,09354 |

System von 48 Einheiten Länge (die Einheit = 2,61 Centim.).

| Magnet. | Anker. | Tragkraft in Kilogr. | Anziehung in Kilogr. |
|---|---|---|---|
| 24 | 24 | 7,48337 | 2,61917 |
| 30 | 18 | 5,09805 | 1,96438 |
| 36 | 12 | 3,74168 | 1,16927 |
| 42 | 6 | 1,87084 | 0,56125. |

Aus der vergleichenden Zusammenstellung dieser Versuche ergaben sich folgende Sätze: Anziehung und Tragkraft sind bei gleicher magnetisirender Kraft des nämlichen magnetischen Systems dem kürzeren Theile desselben proportional. — Anziehung und Tragkraft des magnetischen Systems erreichen ihr Maximum, wenn Magnet und Anker gleiche Länge haben. — Die Maxima der Anziehung und Tragkraft verschiedener magnetischen

Systeme sind den Längen der Systeme proportional. — Anziehung und Tragkraft verschiedener magnetischen Systeme ist bei gleicher magnetisirender Kraft dieselbe, wenn die kürzeren Theile der Systeme einander gleich sind.

Die Länge der Schenkel eines Hufeisens hat keinen Einfluß auf die Anziehung desselben, wenn die Windungen der Spirale es seiner ganzen Länge nach umgeben. Denn mit 2,61 Centimeter dicken Hufeisen, deren Schenkellänge zwischen 10,46 und 31,38 Centimeter variirte, fand man bei derselben magnetisirenden Kraft stets eine Anziehung von 0,9822 Kilogrammes. Ebenso liegen Versuche vor, aus denen hervorgeht, daß derselbe Satz auch für die Tragkraft gilt.

Die Anziehung wie die Tragkraft bleibt dieselbe bei jeder beliebigen Entfernung der Schenkel des Hufeisens. Die Richtigkeit dieses Satzes erhellet aus den in nachstehender Tabelle enthaltenen Angaben:

| | Entfernung der Schenkel. | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 10,46 Centimeter. | 9,15 Centimeter. | 7,8 Centimeter. | 6,5 Centimeter. |
| I. . . . . | 1,261 | 1,284 | 1,284 | 1,261 |
| II. . . . . | 0,911 | 0,911 | 0,887 | 0,911 |
| III. . . . . | 0,841 | 0,841 | 0,841 | 0,864 |
| IV. . . . . | 0,724 | — | 0,701 | 0,701 |
| V. . . . . | 6,304 | — | — | 6,071. |

In **I.** sind die Versuche angegeben mit einem 5,23 Centimeter dicken Hufeisen, dessen Schenkel 15,69 Centimeter lang waren. Zwischen dem Magnet und dem 5,23 Centimeter dicken Anker lag ein dünnes Brettchen. — **II.** enthält Messungen über die Anziehung mit denselben Magneten, allein statt des 5,23 Centimeter dicken Ankers wurde ein 2 Centimeter dicker Anker angewandt. — **III.** gibt Messungen über die Anziehung mit einem 2 Centimeter dicken Hufeisen von 15,69 Centimeter Schenkellänge. — **IV.** enthält die Resultate über die Anziehung mit einem 5,23 Centimeter dicken Hufeisen, dessen Schenkel 31,38 Centimeter lang waren. — In **V.** sind die Versuche über die Tragkraft eines Hufeisens von 2,6 Centimeter Dicke mit 31,38 Centimeter langen Schenkeln angegeben. — Bei den vier ersten Versuchsreihen betrug die erregende Stromstärke $20^0$, während sie in der letzten Versuchsreihe sich nur auf $4^0$ belief. Der letzte Versuch zeigt uns zugleich, in welchem beträchtlichen Maße die Tragkraft im Vergleich gegen die Anziehung in so geringer Entfernung von Magneten zunimmt.

Ein Rückblick auf die Gesetze, welche wir über den Elektromagnetismus hinsichtlich der Stromstärke, der Windungszahl der Spirale, des Durchmessers und der Länge des Kerns kennen gelernt haben, zeigt uns, daß die Wirkung der Elektromagnete, welche auf ihrer ganzen Länge einer-

lei Durchmesser besitzen und auf ihrer ganzen Länge mit den Spiralwindungen gleichmäßig umgeben sind, durch folgende Formeln ausgedrückt werden kann, vorausgesetzt, daß die magnetische Sättigung nicht störend einwirkt. Es seien E der erregte, F der freie Magnetismus, G die Anziehung eines geraden Elektromagnets, H die eines Hufeisens; ferner s die Stromstärke, n die Windungszahl der Spirale, d der Durchmesser und l die Länge des Kernes: man hat alsdann $E = n s \sqrt{d l}$, wo als Einheit des Magnetismus derjenige Betrag gelten kann, welcher in einer Windung durch die zu Grund gelegte Einheit der Stromstärke in einem Eisencylinder erregt wird, dessen Durchmesser und Länge der Einheit gleich kommen. Ein ähnlicher Ausdruck gilt für den freien Magnetismus F. — Bezeichnet k den kürzeren Theil des geraden elektromagnetischen Systems, so erhält man für die Anziehung eines solchen Systems die Relation: $G = s^2 . n^2 . d . k$. — Endlich besteht für die Anziehung der Hufeisenelektromagnete die Gleichung: $H = s^2 . n^2 . d$.

## 5. Einfluß verschieden geformter Enden der Kerne der Anker.

Eine Abänderung in der Endfläche des Elektromagnets ist meistens von einer Aenderung in Betreff der Wirkung begleitet. Verkleinert sich die Endfläche des Magnets, so daß sie in eine Ebene von einem kleineren Durchmesser als der Querschnitt des übrigen cylindrischen Theils des Kernes übergeht; so beobachtet man unter gewissen Umständen eine größere Tragkraft als bei cylindrisch abgerundeten Polflächen. — Will man die Wirkung des freien Magnetismus auf einen kleinen Raum möglichst concentriren, so ist es vortheilhaft, die großen Polflächen mit cubischen Ansatzstücken zu versehen, in denen Cylinder mit ihren conischen Enden einander gegenüber stehen und dabei in horizontaler Richtung verstellbar sind, so daß der Raum zwischen ihnen nach Belieben sich vergrößern und verkleinern läßt. — Eine Erweiterung der Endfläche des Magnets verringert die Anziehung wie die Tragkraft; und zwar fällt die Wirkung um so geringer aus, je beträchtlicher die Erweiterung bei gleicher Masse ist. — Ein anderes Resultat zeigt sich jedoch, wenn der Magnet auf eine kleine Magnetnadel in größerer Entfernung seine Wirkung äußert. Denn in den Versuchen mit gleich langen und gleich dicken Magneten, von denen mehrere mit verschiedenen Ansatzstücken versehen waren, erhielt man bei gleicher Stromstärke und derselben Entfernung von der Nadel der in der Richtung senkrecht auf den magnetischen Meridian stehenden Elektromagnete eine beträchtlichere Ablenkung bei den mit Ansatzstücken versehenen Magneten, als bei denen, welche dergleichen Ansätze entbehrten.

Es ist bereits gesagt worden, daß die Anziehung mit der Länge des Ankers proportional wächst, wenn dieser einerlei Durchmesser mit dem

Magnetkerne hat und seine Länge die des Magnets nicht übersteigt. Ebenso nimmt die Anziehung mit dem Durchmesser des Ankers proportional zu, wenn derselbe den des Magnetkerns nicht übertrifft, wie aus den hier unten mitgetheilten Angaben zu ersehen ist. Man fand nämlich für die Anziehung eines 31,38 Centimeter langen und 2,61 Centimeter dicken Magnets auf 15,69 Centimeter lange Anker von verschiedenem Durchmesser bei einer Stromstärke von 35° folgende Werthe:

| Abstand von der Polfläche. | Anker 2,61 Cent. dick. | 1,96 Cent. dick. | 1,3 Cent. dick. | 0,98 Cent. dick. |
|---|---|---|---|---|
| 0,4 Millimeter | 1,344 | 1,214 | 1,331 | 1,121 |
| 0,6 „ | 1,214 | 1,004 | 0,932 | 0,793 |
| 3 „ | 0,126 | 1,214 | 0,081 | 0,063 |
| 6 „ | 0,607 | 0,058 | 0,039 | 0,034. |

Die Proportionalität zwischen Anziehung und Durchmesser des Ankers findet nicht mehr statt, wenn der Durchmesser des Ankers den des Magnets übersteigt, wie folgende Resultate zeigen, welche man für die Anziehung eines 31,38 Centimeter langen und 1,3 Cent. dicken Magnets durch 15,69 Cent. lange Anker von verschiedenem Durchmesser bei einer Stromstärke von 20° erhalten hat.

| Abstand von der Polfläche. | Anker 2,61 Cent. dick. | 1,96 Cent. dick. | 1,3 Cent. dick. | 0,98 Cent. dick. |
|---|---|---|---|---|
| 0,4 Millimeter | 0,353 | 0,281 | 0,312 | 0,239 |
| 0,6 „ | 0,252 | 0,205 | 0,224 | 0,187 |
| 3 „ | 0,041 | 0,038 | 0,034 | 0,029 |
| 6 „ | 0,024 | 0,021 | 0,015 | 0,014. |

Die Anziehung der Anker von gleicher Masse ist bei einiger Entfernung des Ankers vom Magnet annäherungsweise dieselbe. Hierfür liefern die folgenden von Dub ausgeführten Versuchsreihen den Beweis. Acht Anker von gleichem Gewichte und cylindrischer Form nahmen verhältnißmäßig an Dicke ab, daß ihre Längen sich wie 1, 2, 4, $5\frac{1}{4}$, $7\frac{1}{9}$, $8\frac{1}{2}$, $12\frac{2}{3}$ und 16 verhielten. Der kürzeste Anker hatte 5,23 Centimeter im Durchmesser und war 2,61 Cent. lang; der längste hatte mithin eine Länge von 41,84 Cent. und einen Durchmesser von 1,31 Cent. Die Anker wurden von einem 31,38 Cent. langen und 2,61 Cent. dicken Magneten bei einer Stromstärke von 20° angezogen.

| Abstand von der Polfläche. | Länge der Anker 1 | 2 | 3 | $5\frac{1}{4}$ | $7\frac{1}{9}$ | $8\frac{1}{2}$ | $12\frac{2}{3}$ | 16 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,3 Millimeter | 0,187 | 0,187 | 0,361 | 0,287 | 0,327 | 0,453 | 0,467 | 0,607 |
| 0,6 „ | 0,168 | 0,177 | 0,224 | 0,238 | 0,28 | 0,341 | 0,327 | 0,308 |
| 3 „ | 0,445 | 0,49 | 0,056 | 0,065 | 0,065 | 0,065 | 0,051 | 0,051 |
| 6 „ | 0,023 | 0,026 | 0,029 | 0,033 | 0,033 | 0,028 | 0,031 | 0,028. |

Zu dem nämlichen Resultate ist Dub bei anderen Stromstärken gelangt.

Aus einer großen Anzahl von Dub angestellter Versuche, bei denen sowohl die Stromstärke als die Länge der Anker verändert ward, ergab sich das Resultat, daß die größte Tragkraft bei einem bestimmten Durchmesser auftritt, welcher mit der Steigerung der Stromstärke wie mit der Länge der Anker zunimmt. Als Beispiel diene die Zusammenstellung der Tragkräfte mit 10,46; 15,69; 23,5; 31,38 Centimeter langen Ankern bei verschiedenen Stromstärken, welche einen 31,38 Cent. langen und 2,61 Cent. dicken Magnetkern magnetisirten. Die benutzten Anker waren von 2,6; 1,9; 1,6; 1,3; 0,99; 0,81; 0,49; 0,33 Centimeter Durchmesser:

I. Tragkraft der Anker von 10,46 Centimeter Länge.

| Stromstärke. | 2,6 | 1,3 | 0,99 | 0,81 | 0,49 | 0,33 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. |
| 20° | 1,113 | 1,623 | 1,576 | 1,543 | 1,389 | 0,898 |
| 25° | 1,567 | 2,301 | 2,231 | 2,207 | 1,642 | 1,066 |
| 35° | 2,844 | 4,200 | 3,966 | 3,620 | 1,964 | 1,309 |
| 45° | 5,163 | 7,156 | 5,977 | 4,939 | 2,105 | 1,459 |

II. Tragkraft der Anker von 15,69 Centimeter Länge.

| Stromstärke. | 2,6 | 1,9 | 1,3 | 0,99 | 0,81 | 0,49 | 0,33 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. |
| 20° | 1,529 | 1,824 | 2,226 | 2,385 | 2,296 | 1,263 | 1,015 |
| 25° | 1,259 | 2,586 | 3,335 | 3,414 | 2,848 | 1,590 | 1,029 |
| 35° | 4,153 | 4,813 | 5,865 | 5,556 | 4,303 | 1,917 | 1,338 |
| 45° | 6,229 | 7,577 | 9,354 | 8,068 | 4,742 | 1,758 | 1,300 |

III. Tragkraft der Anker von 23,5 Centimeter Länge.

| Stromstärke. | 2,6 | 1,9 | 1,3 | 0,99 | 0,81 | 0,49 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. |
| 20° | 2,072 | 2,277 | 3,171 | 3,077 | 2,806 | 1,637 |
| 25° | 3,208 | 3,339 | 4,499 | 4,377 | 3,339 | 1,735 |
| 35° | 6,454 | 7,249 | 8,863 | 6,968 | 4,742 | 2,034 |
| 45° | 9,388 | 10,991 | 11,950 | 9,073 | 5,177 | 2,231 |

IV. Tragkraft der Anker von 31,38 Centimeter Länge.

| Stromstärke. | 1,9 | 1,6 | 1,3 | 0,99 | 0,81 | 0,49 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. |
| 20° | 2,193 | 2,712 | 3,190 | 3,386 | 3,049 | 1,534 |
| 25° | 4,022 | 4,364 | 5,065 | 4,798 | 3,994 | 1,754 |
| 35° | 8,559 | 8,980 | 9,167 | 7,319 | 5,051 | 2,039 |
| 45° | 13,502 | 15,626 | 12,862 | 8,723 | 5,486 | 2,264. |

Andere Verhältnisse stellen sich für die Tragkräfte heraus, wenn man die nämlichen Anker durch Magnetkerne von verschiedenem Durchmesser tragen läßt, wie dies nachstehende aus den von Dub ausgeführten Versuchen entlehnte Zusammenstellung zeigt.

| Dicke der Anker. | Dicke der Magnetkerne. 2,61 Cent. | 1,3 Cent. | 0,82 Cent. |
|---|---|---|---|
| 2,61 Cent. | 1,529 Kilogr. | 2,534 Kilogr. | 2,282 Kilogr. |
| 1,95 „ | 1,804 „ | 2,226 „ | 1,908 „ |
| 1,31 „ | 2,226 „ | 2,216 „ | 1,88 „ |
| 0,98 „ | 2,385 „ | 2,245 „ | 1,782 „ |

Die Magnete waren durch dieselbe Kraft magnetisirt, welche die Nadel 20° ablenkte.

Noch verschiedenartiger untereinander als die oben erwähnten Resultate waren diejenigen, welche Dub mit Ankern von gleichem Gewichte erhalten hat, wie wir dies aus nachstehender Zusammenstellung ersehen.

| Anker. Dicke. | Länge. | Durchmesser der Magnetkerne. 2,61 Cent. | 1,3 Cent. | 0,82 Cent. |
|---|---|---|---|---|
| 5,23 Cent. | 2,61 Cent. | 0,842 Kilogr. | 1,403 Kilogr. | 1,496 Kilogr. |
| 3,91 „ | 3,15 „ | 0,795 „ | 1,59 „ | 1,637 „ |
| 3,65 „ | 5,23 „ | 0,982 „ | 2,198 „ | 1,871 „ |
| 3,15 „ | 7,84 „ | 1,263 „ | 2,899 „ | 2,292 „ |
| 2,61 „ | 10,46 „ | 1,567 „ | 3,134 „ | 2,479 „ |
| 2,8 „ | 13,68 „ | 2,105 „ | 3,274 „ | 2,198 „ |
| 1,96 „ | 16,11 „ | 2,899 „ | 3,742 „ | 2,526 „ |
| 1,31 „ | 41,76 „ | 4,817 „ | 4,677 „ | 2,806 „ |

Der Strom war bei allen diesen Versuchen 25° stark.

Auch die Größe der Berührungsfläche kommt bei der Tragkraft in Betracht, wie Dub gefunden hat. Mit zwei Ankern, welche 2,61 und 5,23 Centimeter dick und deren Berührungsflächen durch Zuspitzung verkleinert waren, so daß der 2,61 Centimeter dicke Anker nur eine Berührungsfläche von 1,31 Centimeter Durchmesser und der 5,23 Centimeter dicke eine von 2,61 Centimeter Durchmesser hatte. Diese Anker ließ er von zwei Magneten von 31,38 Centimeter Länge, 2,61 und 1,31 Centimeter Dicke anziehen, wobei er mit einer Stromstärke von 20° folgende Resultate erhielt.

Tragkraft des 2,61 Centimeter dicken Magnets.

| Durchmesser der Anker. | Conischer Anker. Kilogramme. | Cylindrische Anker. Anker. | Kilogr. | Anker. | Kilogr. |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,61 Cent. | 3,274 | 2,61 Cent. dick | 1,529 | 1,31 Cent. dick | 2,226 |
| 5,23 „ | 2,198 | 5,23 „ „ | 2,058 | 2,61 „ „ | 1,592 |

Tragkraft des 1,31 Centimeter dicken Magnets.

| Durchmesser der Anker. | Conischer Anker. Kilogramme. | Cylindrische Anker. Anker. | Kilogr. | Anker. | Kilogr. |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,61 Cent. | 2,937 | 2,61 Cent. dick | 2,535 | 1,31 Cent. dick | 2,226 |
| 5,23 „ | 3,030 | 5,23 „ „ | 3,489 | 2,61 „ „ | 2,535 |

Die mit „cylindrische Anker" überschriebenen Columnen enthalten die Tragkraft derjenigen Anker, von denen der erste dieselbe Dicke, der zweite dieselbe Berührungsfläche wie die conischen haben.

## 6. Einfluß der Beschaffenheit des Eisens.

Um den Einfluß der Beschaffenheit des Eisens auf die Magnetisirung durch den galvanischen Strom zu prüfen, ließ Professor Müller in Freiburg den Strom von sechs Bunsen'schen Bechern durch eine Magnetisirungsspirale von 200 Windungen und 15 Centimeter Länge gehen, deren Mitte 50 Centimeter weit von der Mitte einer kleinen Magnetnadel entfernt war und deren Achse rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian stand. In diese Spirale wurden der Reihe nach die in der folgenden Tabelle verzeichneten Stäbe eingeschoben, welche sämmtlich 16,7 Centimeter lang und 6 Millimeter dick waren. Die Ablenkung, welche durch die Spirale sammt Stab hervorgebracht wurde, steht in der mit $\alpha$ überschriebenen Columne; die durch die Spirale allein bewirkte Ablenkung betrug $8^0$; der Werth von $\tan \alpha - \tan 8^0$, welcher dem Magnetismus des Stabes zukommt, befindet sich in der mit m überschriebenen Columne.

| Eisenarten. | Ablenkungswinkel $\alpha$. | $m = \tan \alpha - \tan 8^0$. |
|---|---|---|
| Geschmiedetes Eisen | $32^0,6$ | 0,499 |
| Gewalztes Eisen | $32^0$ | 0,485 |
| Stahl ausgeglüht | $30^0$ | 0,437 |
| Stahl angelassen | $30^0$ | 0,437 |
| Stahl hart | $23^0$ | 0,284 |
| Gußeisen | $22^0$ | 0,264. |

Die Verhältnisse dieser Magnetismen weichen nicht bedeutend von den Verhältnissen der Magnetismen ab, welche jene Eisensorten unter dem Einfluß des Erdmagnetismus annehmen. — Nach Unterbrechung des Stromes gaben sich die zurückgebliebenen Magnetismen durch folgende Ablenkung zu erkennen:

harter Stahl $9^0$; ausgeglühter Stahl $3^0$;
angelassener Stahl $7^0$; Gußeisen $1^0$.

Die Stäbe aus geschmiedetem und gewalztem Eisen behielten einen so geringen Magnetismus zurück, daß er in der beibehaltenen Entfernung keine merkliche Ablenkung der Nadel hervorbrachte.

Der freie Magnetismus eines Elektromagnets wirkt in verschiedenen Entfernungen ganz auf dieselbe Weise wie ein Stahlmagnet von derselben Form. Dies kann auch nicht anders sein, da die Magnetismen der beiden verschiedenen Magnete dem Wesen nach übereinstimmen. Den experimentellen Nachweis dafür liefert uns folgender von Dub ausgeführte Versuch. Er brachte einen cylindrischen Stahlmagnet von 31,38 Centimeter Länge

und 2,61 Centimeter Dicke in verschiedene Abstände von einer kleinen Magnetnadel in einer auf den magnetischen Meridian senkrechten Richtung, so daß der Mittelpunkt der Nadel in der Verlängerung der Achse des Magnets lag. Es ergaben sich in verschiedenen Entfernungen folgende Intensitäten:

| Entfernung des Magnets. | Ablenkung der Nadel $\alpha$. | Magnetismus = tang $\alpha$. |
|---|---|---|
| 36,71 Centimeter | $13^0,5$ | 0,24008 |
| 55 „ | $5^0$ | 0,08716 |
| 65,3 „ | $3^0,5$ | 0,05116 |
| 78 „ | $2^0,25$ | 0,03929. |

Hierauf wurde der Stahlmagnet durch einen Elektromagneten ersetzt, dessen Eisenkern die nämlichen Dimensionen wie der erstere hatte. Nachdem bei der Entfernung von 36,7 Centimeter dem Eisenkerne durch den galvanischen Strom die Intensität des Stahlmagnets ertheilt und die Wirkung der Spirale für sich in Abzug gebracht worden, zeigte sich bei gleicher Entfernung von der Nadel genau die nämliche Ablenkung, wie die bei dem Stahlmagnet aufgefundene.

Wenn nun die Tragkraft des Elektromagnets jene des Stahlmagnets bei gleichem freien Magnetismus beträchtlich übertrifft, so kann dieser Unterschied nur von dem Anker herrühren. Wegen der geringen Coërcitivkraft des Eisens kann durch die wechselseitige Einwirkung zwischen Anker und Elektromagnet in dem letzteren wieder eine Menge Magnetismus hervorgerufen werden, was eine Vermehrung der Tragkraft zur nothwendigen Folge hat. Dagegen wird durch Anlegen des Ankers an einen Stahlmagnet wegen der großen Coërcitivkraft des letzteren verhältnißmäßig nur sehr wenig neuer Magnetismus erregt, was ein Zurückbleiben der Tragkraft des Stahlmagnets im Vergleich zu der des Elektromagnets nothwendigerweise bedingt. Auch haben wir zu seiner Zeit gesehen, welchen bedeutenden Einfluß die Beschaffenheit des Ankers auf die Tragkraft hat. — Wie beträchtlich übrigens der Magnetismus eines Elektromagnets verstärkt wird, wenn der Anker auf beide Pole gelegt wird, im Vergleich zu dem eines Stahlmagnets, ergibt sich aus folgender Beobachtung. Ein Elektromagnet, welcher an jedem einzelnen Pole nur 0,8 Kilogramm Eisen zu tragen vermochte, war im Stande, mit dem über beide Pole gelegten Anker über 65 Kilogrammes zu tragen. Dagegen vermochte ein Stahlmagnet an jedem einzelnen Pole größere Eisenmassen als der Elektromagnet zu tragen, während er nur 4,6 Kilogrammes trug, wenn der Anker über seine beiden Pole gelegt wurde. Vor der Verbindung der Pole durch den Anker war der Magnetismus des Stahlmagnets größer als der des Elektromagnets, während nach der Verbindung das umgekehrte Verhältniß im höheren Grade stattfand.

Daß die Tragkraft der mit einem Anker versehenen Elektromagnete durch den Umstand besonders bedingt wird, daß das Eisen eine in sich geschlossene Masse bilde, geht aus folgendem von Magnus ausgeführten Versuche hervor. Zwei Elektromagnete in Hufeisenform von ganz gleichen Eisenmassen und mit ganz gleichem Draht umwunden wurden so aufgestellt, daß ihre vier Pole ein Quadrat bildeten. Die Drähte derselben waren so mit einander verbunden, daß der galvanische Strom durch beide nach einander ging, wobei die Pole so lagen, daß immer zwei ungleichnamige einander zunächst standen. Jeder der beiden Elektromagnete trug über 24 Kilogrammes, wenn über seine Pole ein Anker gelegt wurde. Dagegen waren die Elektromagnete kaum im Stande, den Anker allein zu tragen, wenn zwei zu den verschiedenen Elektromagneten gehörige ungleichnamige Pole mit einander verbunden wurden.

## 7. Entstehen und Verschwinden des Magnetismus.

Nach Oeffnung der Kette vermag der hufeisenförmige Elektromagnet den seine Pole verbindenden Anker längere Zeit noch zu halten, dagegen das Abreißen des Ankers die magnetische Kraft fast vollkommen vernichtet. Zieht man allmählig den Anker ab, indem man gleichzeitig einen zweiten Anker anlegt, so daß das Hufeisen keinen Augenblick ohne Armatur ist; so bleibt der zweite Anker mit der nämlichen Kraft als der erste daran hängen. Die Erscheinung hat darin ihren Grund, daß der durch den Strom ursprünglich erregte Magnetismus gleichzeitig eine Wechselwirkung zwischen Anker und Magnet hervorruft, welche nach Unterbrechung des Stroms längere Zeit noch andauert. Daß diese secundäre Erscheinung mehr oder minder lang anhält, darf nicht befremden, wenn man die Verschiedenheit der Coërcitivkraft bei den verschiedenen Eisensorten in Anschlag bringt. Bei geringer Coërcitivkraft werden die Molecüle alsbald in ihre ursprüngliche Gleichgewichtslage zurückkehren, aus welcher sie durch die Wirkung des Schließungsbogens gerissen worden sind, wodurch der Elektromagnet alle nachhaltige Kraft gänzlich verliert. Dagegen wird bei größerer Coërcitivkraft der hervorgerufene polare Zustand der Molecüle nicht sobald aufgehoben, wodurch ein stärkeres Hervortreten der magnetischen Kraft ermöglicht wird. — Doch hat nicht blos die Beschaffenheit des Eisens, wenn der Anker vorgelegt worden, nach Unterbrechung des Stromes auf das mehr oder minder schnelle Verschwinden des Magnetismus Einfluß, dasselbe hängt auch von der Stromstärke und von der Länge des Schließungsdrahtes ab. Der Magnetismus verschwindet nämlich unter sonst gleichen Umständen langsamer bei stärkerem Strome als bei schwächerem; deßgleichen erfolgt das Verschwinden des Magnetismus langsamer bei langen Schließungsdrähten als bei kurzen.

Der Magnetismus eines Elektromagnets entsteht bei vorgelegtem Anker nicht augenblicklich, sondern nimmt ebenfalls allmählig zu. Dies sieht man schon daran, daß der an das Hufeisen angelegte Anker anfänglich mit viel geringerer Kraft abgezogen werden kann, als wenn er einige Zeit an dem Hufeisen haftet. Es ist demnach eine gewisse Zeit erforderlich, bis der Elektromagnet das Maximum seiner Tragkraft erreicht. Diese Zeit ist länger bei langen Schließungsdrähten als bei kurzen. Auch wird diese Zeit um so größer, je größere Dimensionen der angewandte Elektromagnet hat; wie denn ebenfalls die Zeit mit der Beschaffenheit des Eisens sich ändert.

Wird an den Elektromagnet kein Anker angelegt, so gelangt der Magnet nicht augenblicklich zu seiner vollen Kraft; sondern es wird dazu eine gewisse Zeit erfordert, welche theils von dem Kerne selbst, theils von der den Kern umgebenden Spirale abhängt. Dies zeigt sich deutlich bei der Magnetisirung des Lichts, von welcher Erscheinung bei dem Diamagnetismus später die Rede sein wird. Bringt man nämlich zwischen die Pole eines kräftigen Elektromagnets ein Stück kieselborsaures Bleioxyd, so wird das beim Schließen der Batterie durch die Drehung des polarisirten Lichtstrahls entstandene Bild nicht sogleich in seinem vollen Glanz erscheinen, sondern erst allmählig nach einigen Secunden dahin gelangen. Diese allmählige Zunahme an Helligkeit kann nur daher rühren, daß der Magnetismus, welchen der elektrische Strom in dem Eisenkerne erregt, nach und nach an Stärke zunimmt. Bei Oeffnung der Kette verschwindet das Bild ungemein schneller, als es entstanden ist; was darauf hinweist, daß der Magnetismus rascher verschwindet als er entsteht.

Wenn kein Anker an dem Elektromagnet angelegt ist, verschwindet der Magnetismus plötzlich, nachdem der Strom alsbald unterbrochen wird. Dagegen ist die Aufhebung des Stromes keineswegs von einem gleich starken Verschwinden des Magnetismus begleitet, wenn die Schließung einige Zeit lang gedauert hat. — Durch Anlegung des Ankers wird übrigens die Wirkung des Stroms auf kurze Zeit theilweise aufgehoben, wofür folgende Thatsache den Beleg liefert. Wendet man nämlich einen Elektromagneten mit langem Draht an und schaltet dabei einen Multiplicator ein, so weicht die Nadel bei hinlänglich starkem Strom um 90° ab, wenn kein Anker angelegt ist. Dagegen weicht die Nadel anfänglich nicht mehr so stark und erreicht erst nach einiger Zeit ihre frühere Abweichung vollständig wieder, wenn die beiden Pole des Magnets durch den Anker mit einander verbunden werden.

## 8. Allgemeine Theorie der elektromagnetischen Motoren.

Ueber die elektromagnetischen Maschinen hat Jacobi in Petersburg eine allgemeine Theorie aufgestellt, die wegen ihrer Einfachheit hier mitzutheilen uns vergönnt sein mag. Bezeichnet s die Stromstärke, E die elektromotorische Kraft eines Elementes der Säule, n die Zahl der Elemente, w den Gesammtwiderstand des Schließungskreises; so hat man: $s = \frac{nE}{w}$. Der in der Säule stattfindende elektrolytische Erfolg oder die während einer bestimmten Zeit aufgelöste Menge Zink ist nun dem Produkte der Stromstärke und der Plattenpaare proportional. Man hat daher ferner, wenn q diese Zinkmenge darstellt, die Relation $q = n s = \frac{n^2 E}{w}$. Weiter erhält man in Berücksichtigung, daß der durch galvanische Ströme erregte Magnetismus m der Stromstärke s und der Anzahl k der Spiralwindungen proportional ist: $m = k s = \frac{k n E}{w}$.

Durch die Bewegung der Maschine wird aber ein Gegenstrom entwickelt, welcher die ursprüngliche Stromstärke vermindert. Stellt nun s' die Stromstärke bei gleichförmiger Geschwindigkeit der Maschine dar, $s_1$ die Intensität des Gegenstromes, so ist $s_1 = s - s'$; während für den mittleren Magnetismus m' die Relation $m' = k s'$ besteht. — Die Intensität des Gegenstromes ist ihrerseits der magnetischen Kraft, der Windungszahl der Spirale und der Geschwindigkeit der Maschine direct und dem Widerstand umgekehrt proportional; was für die Stromstärke $s_1$ des Gegenstromes die Gleichung $s_1 = \frac{\alpha m' k v}{w}$ liefert, wo $\alpha$ einen constanten von der Beschaffenheit des Eisens abhängigen Coefficienten bezeichnet. — Aus den vorstehenden Gleichungen folgt nun:

$$s_1 = \frac{\alpha k^2 v s'}{w} \text{ und } s' = \frac{s w}{w + \alpha k^2 v};$$

ferner $s' = \frac{nE}{w + \alpha k^2 v}$, $m' = \frac{knE}{w + \alpha k^2 v}$ und $v = \frac{knE - m'w}{m' \alpha k^2}$.

Bei gleichförmiger Bewegung der Maschine und constanter Ablenkung der Tangentenbussole sind bewegende Kraft und Bewegungswiderstand einander gleich, was, wenn F die mittlere Kraft der Maschine und R die Summe aller Widerstände bezeichnet, die Gleichung $F = R$ oder $F v = R v$ gibt. Die Kraft F der Elektromagnete ist aber gleich dem Produkte ihrer Magnetismen m'; d. h. es ist $R = m'^2 = \frac{(k n E)^2}{(w + \alpha k^2 v)^2}$ und der mechanische Effect der Maschine

$$L = R v = \frac{k n E m' - m'^2 w}{\alpha k^2} = \frac{k n E \sqrt{R} - R w}{\alpha k^2} = \frac{v (k n E)^2}{(w + \alpha k^2 v)^2}. \text{ —}$$

Für die dem Maximum des mechanischen Effectes entsprechenden Werthe von R und v findet man $R = \frac{k^2 n^2 E^2}{4 w^2}$ und $v = \frac{w}{\alpha k^2}$. Durch Substitution dieser Werthe in $L = \frac{k n E \sqrt{R} - R w}{\alpha k^2}$ erhält man $L = \frac{n^2 E^2}{4 \alpha w}$. Aus der vergleichenden Zusammenstellung der Formeln $R = \frac{k^2 n^2 E^2}{4 w^2}$ und $m^2 = \frac{k^2 n^2 E^2}{w^2}$ ergibt sich nachstehender Satz: Das Maximum des mechanischen Effectes wird erhalten, wenn die Summe der Widerstandskräfte dem vierten Theil der mittleren Kraft der Elektromagnete gleich ist.

Die Gleichung $L = \frac{k n E \sqrt{R} - R w}{\alpha k^2}$ liefert $L = 0$, wenn $R = 0$ und $R = \frac{k^2 n^2 E^2}{w^2}$. Im ersten Falle wird $v = \infty$ und $s' = 0$, d. h. wenn man von allem Widerstande absieht, ist eine unendlich große Geschwindigkeit erforderlich, damit die Intensität des Gegenstromes der des Stromes der Säule gleich werde. — Im andern Falle wird auch $v = 0$, d. h. die Summe der Widerstandskräfte ist gleich der mittleren Kraft der Elektromagnete beim Stillstande der Maschine. — Der für das Maximum des mechanischen Effectes gefundene Ausdruck $L = \frac{n^2 E^2}{4 \alpha w}$ lehrt uns, daß die Spirale in Betreff der Zahl ihrer Windungen keinen Einfluß darauf hat, sondern denselben nur in Betreff des Widerstandes äußert, welchen sie dem Strom entgegensetzt. Mit Drähten von verschiedener Länge und Dicke, welche einerlei Widerstand darbieten, kann man demnach die Zahl der Windungen nach Belieben wählen, ohne dadurch das Maximum des mechanischen Effectes zu verändern.

Die Unterhaltungskosten sind dem Produkte der Stromstärke und der Zahl der Elemente proportional. Stellt man sie durch q' dar, so hat man $q' = n s'$, oder, wenn man für s' seinen Werth $s' = \frac{n E}{w + \alpha k^2 v}$ und für v seinen Werth $v = \frac{w}{\alpha k^2}$ folgende Ausdrücke:

$$s' = \frac{n E}{2 w}; \quad q' = \frac{n^2 E}{2 w}; \quad L = \frac{E q'}{2 \alpha}.$$

Die letzte Formel lehrt uns, daß Unterhaltungskosten in proportionalem Verhältnisse zu einander stehen; zugleich lehrt sie, daß diejenige Säule am vortheilhaftesten ist, welche die größte elektromotorische Kraft besitzt. — Aus der Gleichung $G = \frac{L}{q'} = \frac{E}{2 \alpha}$ folgt, daß der Nutzeffect G von der Anordnung der Batterie und der Spirale unabhängig ist und nur durch die elektromotorische Kraft E und den Coefficienten $\alpha$ bedingt wird.

Dem Ausdruck für das Maximum des mechanischen Effects $L = \frac{n^2 E^2}{4 \alpha w}$ kann man eine andere Form geben. Ist nämlich a die Gesammtoberfläche der Säule, λ der Widerstand der Flächeneinheit eines Paares und λ' der Widerstand der Spiralen; so hat man $w = \frac{n^2 \lambda}{a} + \lambda'$. Durch Substitution dieses Werthes in $L = \frac{n^2 E^2}{4 \alpha w}$ ergibt sich $L = \frac{a n^2 E^2}{4 \alpha (n^2 \lambda + a \lambda')}$. Das Maximum des mechanischen Effectes wächst also bei gegebener Oberfläche mit der Zahl der Elemente. — Ist $n^2 \lambda$ so groß geworden, daß das Glied $a \lambda'$ dagegen verschwindet; so bekommt man als Grenzwerth für das Maximum des mechanischen Effectes den Ausdruck: $L = \frac{a E^2}{4 \alpha \lambda}$. — Ebenso erhält man als Grenzwerthe der Kraft, der Geschwindigkeit und der Stromstärke die Ausdrücke:

$$R = \frac{k^2 a^2 E^2}{4 n^2 \lambda^2}; \quad v = \frac{n^2 \lambda}{a \alpha k^2}; \quad s' = \frac{a E}{2 n \lambda}.$$

Das Maximum der Magnetisirung erreicht man, wenn man die Säule dergestalt construirt, daß ihr eigener Widerstand gleich jenem der Spiralen, oder $\lambda' = \frac{n^2 \lambda}{a}$ ist. Setzt man $w = \frac{2 n^2 \lambda}{a}$ in den Ausdruck $L = \frac{n^2 E^2}{4 \alpha w}$, so entsteht $L = \frac{a E^2}{8 \alpha \lambda}$: d. h. der Grenzwerth des mechanischen Effects, welcher eine Säule von gegebener Oberfläche hervorbringen kann, beträgt nur das Doppelte des Effects, welchen man erhält, wenn man den Elektromagneten das Maximum ihrer Magnetisirung ertheilt. — Führt man den Werth von $w = \frac{n^2 \lambda + \lambda' a}{a}$ in die Gleichung $v = \frac{w}{\alpha k^2}$ ein, so hat man $v = \frac{n^2 \lambda + \lambda' a}{a \alpha k^2}$.

Aus der Zusammenstellung der beiden Relationen $s' = \frac{n E}{w}$ und $s = \frac{n E}{w}$ ergibt sich $s = 2 s'$: d. h. die ursprüngliche Stromstärke beträgt das Doppelte von derjenigen, welche dem Maximum des mechanischen Effects entspricht. Wenn man mithin während des Gangs der Maschine die Ablenkung der Galvanometernadel beobachtet, so kann man leicht beurtheilen, ob jene Ablenkung dem Maximum des mechanischen Effects entspricht oder nicht. Im letzteren Falle wird man die Widerstandskräfte der Maschine so lange vermehren oder vermindern, bis der Gleichung $s' = \frac{1}{2} s$ Genüge geschieht. — Halten wir endlich den Ausdruck $L = \frac{n^2 E^2}{4 w \alpha}$ mit dem Ausdrucke $W = \frac{a E^2}{l}$ oder $W = \frac{a n^2 E}{l}$ zusammen, welchen wir in dem folgenden Kapitel näher kennen lernen werden und welcher die durch den galvanischen Strom entwickelte Wärmemenge W in einem

Schließungskreise darstellt, dessen Widerstand 1 ist; so muß uns die große Uebereinstimmung zwischen den beiden Ausdrücken auffallen. Doch darf uns eine solche Uebereinstimmung noch nicht bestimmen, die durch die Wärme in einer Dampfmaschine geleistete Arbeit und den durch den galvanischen Strom in einer elektromotorischen Maschine zu Stande gebrachten Effect als völlig identische Dinge anzusehen.

## IV. Galvanische Wärme-, Licht- und Schallwirkungen.

### 1. Wärmeeffecte der Volta'schen Ströme.

Die festen Leiter werden, wenn der galvanische Strom durch sie hindurchgeht, von demselben mehr oder weniger erwärmt. Man kann dies schon leicht daran wahrnehmen, wenn man eine zusammengesetzte Kette durch einen feinen Eisen- oder Neusilberdraht schließt. Derselbe wird sich bei ziemlicher Länge beim Anfühlen mit der Hand merklich erwärmt zeigen und bei hinlänglicher Kürze zum Glühen und selbst zum Schmelzen kommen. — Noch lebhafter wird das Verbrennen mit unächtem Blattgold oder mit Quecksilber vor sich gehen, wenn man den einen Pol der Kette durch einen Draht damit in Verbindung bringt, welcher den andern Pol berührt. Auch wird die Temperatur einer nicht leitenden Flüssigkeit, wie Alkohol oder Terpentinöl, erhöht, wenn man den vom galvanischen Strom durchflossenen Schließungsdraht durch die Flüssigkeit führt. — Ueberhaupt erhitzt der galvanische Strom schlechte Leiter mehr als gute, was anzudeuten scheint, daß die Wärmeentwickelung eine Folge der gehemmten Bewegung der Elektricität ist.

Um die Gesetze der Wärmeentwickelung durch den galvanischen Strom zu ergründen, bediente sich Lenz in Petersburg eines mit möglichst wasserfreiem Weingeist gefüllten Glasgefäßes, in dessen Hals ein Glasstöpsel eingeschliffen war, durch welchen das Gefäß mittelst etwas Fett in der Mitte eines Brettes luft- und wasserdicht aufgesetzt werden konnte. Das Glasgefäß hatte oben, also eigentlich in seinem Boden eine cylindrische eingeschliffene Oeffnung, in welche ein Kork gesteckt war, durch den das Thermometer mit der Kugel in die Mitte des Gefäßes hineinreichte. In dem Glasstöpsel werden zwei Platindrähte eingebohrt und festgekittet, welche in der Form zweier Kegel in das Gefäß hineinragten. Die unteren Enden der Platinkegel sind an Kupferdrähte gelöthet, die in das Brett eingelassen zu Klemmschrauben führen, vermittelst derer die Verbindung mit der galvanischen Batterie hergestellt werden konnte. Der Draht, welcher erwärmt werden soll, ist um einen cylindrischen 3 bis 4 Millimeter dicken Stift zu einer Spirale gewunden und mit seinen Enden vermittelst zweier Platinklötzchen auf den Platinkegeln festgeklemmt und hält sich durch

seine Elasticität aufrecht, ohne mit seinen Windungen sich irgendwo zu berühren. Von der Flüssigkeit, deren Erwärmung durch den Draht am Thermometer bestimmt wurde, befand sich immer so viel in dem Gefäße, daß die Drahtspirale ganz untertauchte. Die Flüssigkeit bestand, wie gesagt, aus Weingeist von 85 bis 86 Procent Alkohol, indem Wasser einen so guten Leiter abgab, daß ein Theil des Stromes durch dasselbe hindurchging. — Nachdem die Drahtspirale in dem Apparat befestigt und der Weingeist nach einem bestimmten Maße eingefüllt worden, wurde der Apparat zugleich mit der Tangentenbussole und dem Rheostat mit der Batterie zur Kette verbunden. Mittelst des Rheostats wurde der Strom beständig bei einer bestimmten Stärke erhalten, und die Zeit beobachtet, welche erforderlich ist, damit das Thermometer im Weingeist um eine bestimmte Anzahl von Graden steigt. Dabei ward durch ein Herumdrehen des Apparates in einem kleinen Kreise die Flüssigkeit in eine fortwährende rotirende Bewegung gebracht, wodurch eine möglichst gleichmäßige Temperatur im Inneren der Flüssigkeit erzielt wurde. — Um die Fehler zu vermeiden, welche durch den Wärmeverlust an die Umgebung veranlaßt werden, wurde der Weingeist unter der Temperatur des umgebenden Mittels in das Gefäß gefüllt und der Versuch geschlossen, als die Endtemperatur ebensoviel über die Lufttemperatur gestiegen war, als sie anfänglich darunter stand. Auf diese Weise gewinnt der Weingeist bei niedrigerer Temperatur von dem umgebenden Mittel ebensoviel, als er nachher bei höherer Temperatur wieder verliert.

An einem besonderen Beispiele möge das Verfahren näher erläutert werden. Die Erwärmung wurde bestimmt, welche in dem Weingeiste eine Kupferspirale bei einem Strome von 35° hervorbrachte. Die Temperatur der Luft betrug 16° R. Der Weingeist ward durch Eis bis auf 7° erkaltet in das Gefäß gegossen und hierauf die Kette geschlossen. Nun wurden an einer Secundenuhr die Momente beobachtet, in denen die Temperatur des Weingeistes 10, 11, 12, 13, 14 und 15 Grad betrug, alsdann die Momente, in welchen sie sich auf 17, 18, 19, 20, 21 und 22 Grad belief. Auf solche Weise bekam man die Erwärmungen für sechs Zeitintervalle, von denen jeder ebensoviel Grade über als unter dem umgebenden Mittel umfaßte. Hiernach ergab sich für die Zeit, welche nöthig war, um die Temperatur des Weingeistes

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| von | 15 | bis | 17, | also um | 2° | zu erhöhen, | 1,05 | Minuten |
| „ | 14 | „ | 18, | „ „ | 4° | „ „ | 2,22 | „ |
| „ | 13 | „ | 19, | „ „ | 6° | „ „ | 3,25 | „ |
| „ | 12 | „ | 20, | „ „ | 8° | „ „ | 4,30 | „ |
| „ | 11 | „ | 21, | „ „ | 10° | „ „ | 5,42 | „ |
| „ | 10 | „ | 22, | „ „ | 12° | „ „ | 6,53 | „ |

Hieraus entspringt für die Zeit t, welche erforderlich gewesen, um die Temperatur des Weingeistes um 1° zu erhöhen, 0,542 Minuten. — Der Leitungswiderstand l des Spiraldrahtes in Rheostatenwindungen ausgedrückt, zu welcher Neusilberdraht genommen wurde, war 5,406. — Wir wollen jetzt die Resultate mittheilen, welche Lenz aus seinen Versuchen erhalten hat, wobei als Einheit der Stromstärke s diejenige gilt, welche 1° Ablenkung an der von ihm benutzten Tangentenbussole hervorbringt.

| | Stromstärke s. | Leitungswiderstand l in Rheostatenwindungen. | Zeit t, um die Temperatur des Weingeistes um 1° zu erhöhen. |
|---|---|---|---|
| Dünner Neusilberdraht | 10,10 | 35,15 | 1,349 |
| | 15,35 | 35,19 | 0,571 |
| | 20,85 | 35,31 | 0,300 |
| Dicker Neusilberdraht | 15,35 | 22,09 | 0,918 |
| | 20,85 | 22,05 | 0,481 |
| | 26,71 | 22,17 | 0,288 |
| Noch dickerer Neusilberdraht | 26,71 | 16,76 | 0,384 |
| Platindraht | 20,85 | 18,96 | 0,555 |
| | 26,71 | 19,23 | 0,325 |
| Eisendraht | 33,08 | 9,36 | 0,435 |
| Kupferdraht | 26,71 | 5,23 | 1,301 |
| | 33,08 | 5,22 | 0,835 |
| | 40,12 | 5,23 | 0,575 |
| | 48,07 | 5,26 | 0,381. |

Halten wir nun für den nämlichen Strom die Werthe von t und die ihnen entsprechenden Werthe von l gegen einander, so sehen wir, daß t wächst, wenn l abnimmt. Nehmen wir an, daß jene Werthe im umgekehrten Verhältniß zu einander stehen, so müßte das Produkt $tl$ für alle Beobachtungen bei einem und demselben einen constanten Werth haben. Es ergibt sich nun für den Strom 15,35:

bei dünnem Neusilber: $tl = 20{,}1$; bei dickem Neusilber: $tl = 19{,}84$.

Für den Strom 20,85:

bei dünnem Neusilber: $tl = 10{,}6$; bei Platin $tl = 10{,}52$.

Für den Strom 26,71:

bei dickem Neusilber $tl = 6{,}39$; bei noch dickerem Neusilber $tl = 6{,}42$; bei Platin $tl = 6{,}25$; bei Kupfer $tl = 6{,}79$.

Für den Strom 33,08:

bei Eisen $tl = 4{,}07$; bei Kupfer $tl = 4{,}36$.

Die Gleichheit der Werthe von $tl$ für ein und denselben Strom rechtfertigt die Annahme, daß die Erwärmungszeit dem Leitungswiderstande umgekehrt proportional sei, oder die Erwärmungen in bestimmter Zeit dem Leitungswiderstand direct proportional seien.

Um die Abhängigkeit der Wärmeerzeugung von der Stärke des Stromes zu ermitteln, müssen wir die mit demselben Drahte für verschiedene Ströme angestellten Versuche in vergleichende Uebersicht bringen. Wir sehen dann bald, daß die Zeiten t im umgekehrten Verhältnisse zu den Stromstärken s stehen, oder daß die Erwärmung um so stärker ist, je stärker der Strom. Allein es zeigt sich bald, daß erstere in einem stärkeren Verhältnisse als die Stromstärken wachsen. Nehmen wir an, daß die Erwärmungszeiten t den Quadraten der Stromstärken umgekehrt proportional seien, so müßten die Produkte $s^2 t$ für alle Versuche mit ein und demselben Drahte einander gleich sein. Wir erhalten aus den oben angeführten Werthen folgende Resultate:

Für dünnes Neusilber:

mit $s = 15,35$; $t = 0,571$; $s^2 t = 134,5$;
mit $s = 20,85$; $t = 0,300$; $s^2 t = 130,5$.

Für dickes Neusilber:

mit $s = 20,85$; $t = 0,481$; $s^2 t = 209,1$;
mit $s = 26,71$; $t = 0,288$; $s^2 t = 205,7$.

Für Platin:

mit $s = 20,85$; $t = 0,555$; $s^2 t = 241,1$;
mit $s = 26,71$; $t = 0,325$; $s^2 t = 231,7$.

Für Kupfer:

mit $s = 26,71$; $t = 1,301$; $s^2 t = 928,2$;
mit $s = 33,08$; $t = 0,835$; $s^2 t = 914,2$.

Wir dürfen mithin annehmen, daß die Wärmeentwickelung den Quadraten der Stromstärke proportional sei.

Aus den beiden gefundenen Sätzen, daß die Wärmeentwickelung dem Leitungswiderstande der Drähte und dem Quadrate der Stromstärke proportional ist, folgt nothwendigerweise, daß das Produkt $s^2 t l$ die Zeit ausdrückt, welche erforderlich ist, um dieselbe Weingeistmasse durch die Einheit der Stromstärke bei der Einheit des Leitungswiderstandes um 1° R. zu erwärmen. Es muß mithin das Produkt $s^2 t l$ für sämmtliche in der oben stehenden Tabelle verzeichnete Versuchsreihen nahezu constant sein, was in der That der Fall ist. Es ergibt sich für gedachtes Produkt der Mittelwerth 4748 Minuten. — Die Masse des Weingeistes sammt der auf die specifische Wärme des Weingeistes reducirten Glasmasse betrug bei den Lenz'schen Versuchen 118 Grammes, welche in Bezug auf Temperaturerhöhung einer Masse von 82,6 Grammes Wasser gleichkommt, da die specifische Wärme des Weingeistes 0,7 ist. Die Zeit zur Erwärmung von 1 Gramme Wasser auf 1° R. durch die Einheit der Stromstärke bei der Einheit des Leitungswiderstandes beträgt demnach ohngefähr 54 Minuten.

Bezeichnet w die Gesammtmenge der in der Zeiteinheit durch die Stromstärke s im Schließungskreise, dessen Gesammtwiderstand = l ist, entwickelten Wärme; so erhält man für dieselbe den Ausdruck: $w = a\,l\,s^2$, wo a eine Constante bedeutet, nämlich die Wärmemenge, welche in der Zeiteinheit durch die Einheit der Stromstärke bei der Einheit des Leitungswiderstandes entwickelt wird. — Es ist aber $s = \frac{E}{l}$, wo E die elektromotorische Kraft des Stromes darstellt. Mittelst dieses Werthes geht der Ausdruck für die entwickelte Wärmemenge in folgende über: $W = a \cdot \frac{E^2}{l}$. Daraus folgt, daß die entwickelte Wärmemenge in der Zeiteinheit in einem Schließungskreise von constantem Widerstande dem Quadrate der elektromotorischen Kraft proportional ist. Weiter ergibt sich daraus, daß die durch einen Strom von constanter elektromotorischer Kraft erzeugte Wärme im umgekehrten Verhältnisse des Gesammtwiderstandes des Schließungskreises steht. — Halten wir diesen Ausdruck mit dem auf der Seite 74 gegebenen Ausdrucke $W = \frac{a}{\frac{\varrho^2}{x\lambda} + b} \cdot \frac{q^2}{s}$ zusammen, welcher die frei gewordene Wärmemenge durch die elektrostatische Entladung im Schließungsbogen der Batterie darstellt; so müssen wir schließen, daß der galvanische Strom in Bezug auf die Erwärmung von Metalldrähten denselben Gesetzen wie der Entladungsschlag unterworfen ist. — Damit ist jedoch keineswegs gesagt, daß der Entladungsschlag der Leidner Flasche mit dem galvanischen Strome direct verglichen werden kann. Wir finden uns hier gerade in demselben Falle wie bei einer momentanen und einer continuirlichen Kraft, welche sich nicht numerisch mit einander vergleichen lassen. Daß diese Vergleichung richtig ist und der galvanische Strom und der Entladungsschlag unter nicht vergleichbaren Umständen erwärmend auf den Draht einwirken, ergibt sich aus folgender Thatsache. Läßt man nämlich dieselbe Flaschenladung, welche durch längere Zeit anhaltendes Drehen der Elektrisirmaschine auf einer Flasche angehäuft worden und bei ihrem Entladungsschlage den Draht merklich erwärmt hatte, sich in continuirlichem Strome binnen gleicher Zeit durch den Draht entladen; so ist die durch einen solchen Strom bewirkte Erwärmung unmerklich.

Ueber das Glühen von Metalldrähten durch den galvanischen Strom hat Müller in Freiburg zuerst ausführlichere Untersuchungen angestellt, denen Folgendes zu entnehmen gestattet sein mag. In den Schließungsbogen der Säule war eingeschaltet die Tangentenbussole und der Drahthalter. Der letztere bestand aus zwei auf einem Brette befestigten Messingsäulchen, an denen zwei Hülsen verschiebbar sind, zwischen denen man den Versuchsdraht einspannte. Zuerst wurde die Länge des Drahtes auf die

Glüherscheinung geprüft, indem man der Reihe nach verschieden lange Stücke desselben Drahtes an dem Drahthalter befestigte. — Zwei Versuchsreihen mit Platindraht von 0,45 Millimeter Durchmesser gaben folgende Resultate.

Säule von 24 Zinkkohlenbechern.

| Drahtlänge. | Ablenkung der Tangentenbussole. | Glüherscheinung. |
|---|---|---|
| 0,5 Meter | 45° | Stellweises Glühen. |
| 0,4 „ | 46° | Schwaches Glühen der ganzen Länge nach. |
| 0,3 „ | 48° | Rothglühen. |
| 0,1 „ | 50° | Hellrothglühen. |

Säule von 12 Zinkkohlenbechern.

| | | |
|---|---|---|
| 0,4 Meter | 46° | Stellweises Glühen. |
| 0,3 „ | 47° | Schwaches Glühen der ganzen Länge nach. |
| 0,2 „ | 48° | Rothglühen. |
| 0,1 „ | 50° | Hellrothglühen. |

Zwei Versuchsreihen mit einem Eisendraht von 0,42 Millimeter Durchmesser lieferten folgende Resultate:

Säule von 24 Zinkkohlenbechern.

| Drahtlänge. | Ablenkung der Tangentenbussole. | Glüherscheinung. |
|---|---|---|
| 0,8 Meter | 33° | Stellweises Glühen. |
| 0,6 „ | 34° | Rothglühen. |
| 0,4 „ | 35° | Hellrothglühen. |
| 0,3 „ | — | Abgeschmolzen. |

Säule von 12 Zinkkohlenbechern.

| | | |
|---|---|---|
| 0,5 Meter | 32° | Stellenweise. |
| 0,4 „ | 33° | Stärker. |
| 0,2 „ | 35° | Stark Rothglühen. |
| 0,1 „ | — | Abgeschmolzen. |

Aus diesen Versuchen und mehreren andern angestellten geht hervor, daß ein und derselbe Draht bei gleicher Stromstärke auch stets dieselbe Glüherscheinung zeigt, welche Länge er auch haben mag. — Bei sehr kurzen Drähten wirkt jedoch die starke Wärmeableitung durch die metallenen Halter auf die Glüherscheinung störend ein. Ein Platindraht von 0,21 Millimeter Durchmesser und 3 Centimeter Länge wurde in dem Schließungsbogen eines einfachen Zinkkohlenbechers schwach glühend bei 26° Ablenkung; als derselbe Draht aber bis auf 1 Centimeter verkürzt wurde, fand bei einer Stromstärke von 34° kein Glühen mehr statt. — Bei Anwendung von zwei Zinkkohlenbechern erhielt man für die beiden Drahtlängen von 3 und 1 Centimeter einerlei Glüherscheinung, wiewohl die Ablenkung für den längeren Draht 34°, für den kürzeren 44° betrug.

Die zweite Untersuchung bezieht sich auf den Einfluß, welchen die Dicke der Drähte auf die Glüherscheinung ausübt. Die Resultate einer Versuchsreihe mit Platindrähten von verschiedenem Durchmesser enthält nachstehende Tabelle.

| Durchmesser D. | | Glüherscheinung. | Ablenkung α. |
|---|---|---|---|
| 0,3 | Millimeter | Schwaches Glühen | 34° |
| " | " | Rothglühen | 36° |
| 0,39 | " | Schwaches Glühen | 43° |
| " | " | Rothglühen | 46° |
| 0,45 | " | Schwaches Glühen | 47° |
| " | " | Rothglühen | 48° |
| 0,75 | " | Rothglühen | 60° |
| " | " | Hellrothglühen | 66°. |

Eine Versuchsreihe mit Eisendraht lieferte folgende Resultate.

| Durchmesser D. | | Glüherscheinung. | Ablenkung α. |
|---|---|---|---|
| 0,2 | Millimeter | Schwach | 19° |
| " | " | Roth | 20° |
| 0,26 | " | Schwach | 24° |
| " | " | Roth | 25° |
| 0,38 | " | Schwach | 34° |
| " | " | Roth | 38° |
| 0,75 | " | Schwach | 52° |
| " | " | Roth | 56°. |

Diese Versuche zeigen, daß, um denselben Grad des Glühens hervorzubringen, die Stromstärke nahezu in gleichem Verhältnisse wie der Durchmesser wachsen muß. Bringen wir damit die auf der Seite 77 aufgestellte Formel $h' = \frac{i'}{i} \cdot \left(\frac{r'}{r}\right)^4 h$ in Vergleich, welche die Bedingungen angibt, unter denen beim Entladungsschlage der Flasche der Grad des Glühens derselbe bleibt; so müssen wir das galvanische Glühen dem Wesen nach verschieden von dem durch den Entladungsschlag der Flasche bewirkten betrachten.

Die Lenz'schen Versuche über Wärmeentwickelung stehen mit den eben erwähnten Beziehungen zwischen Glüherscheinung, Stromstärke und Drahtdicke nicht ganz im Einklang. Nach Lenz hat die Wärmeentwickelung **W**, welche in der Zeiteinheit in einem Draht entwickelt wird, dessen Widerstand l ist, bei der Stromstärke s zum Ausdruck $W = s^2 l$, wo **W** die Wärmemenge bedeuten mag, wenn der Draht rothglühend werden soll. Ersetzt man nun den Draht durch einen gleichlangen aber **n** mal dickeren Draht, so wird die Oberfläche dieses Drahtes **n** mal größer werden, mithin derselbe **n** mal so viel Wärme an die Umgebung abgeben, als der

dünnere Draht, wenn er die nämliche Glüherscheinung hervorbringen soll. Der Leitungswiderstand des n mal dickeren Drahts ist aber $\frac{1}{n^2}$. Bezeichnet jetzt s' die Stromstärke, welche ihn rothglühend macht; so wird $n\,W = \frac{s'^2 l^2}{n^2}$. Durch Combination dieser Gleichung mit der vorhergehenden ergibt sich $s' = s\sqrt{n^3}$. Nach den Lenz'schen Versuchen braucht man also einen fast dreimal stärkeren Strom, um einen doppelt so dicken Draht glühend zu machen, während nach den Müller'schen Beobachtungen ein zweimal so starker Strom dazu ausreicht. — Müller glaubt den Unterschied dieser Differenz darin zu finden, daß der dickere Draht an der Oberfläche dieselbe Temperatur habe, wie der dünnere, im Inneren aber heißer sei. Auf solche Weise geschähe es denn, daß ein n mal dickerer Draht dem Auge denselben Grad des Glühens schon bei einer weniger als n fachen Wärmeentwickelung zu erkennen gibt.

Der Grad der Erhitzung, welche Metalldrähte durch den galvanischen Strom annehmen, hängt mehr oder minder von den sie umgebenden Mitteln ab. Eine der hierher gehörigen Erscheinungen ist der von Grove zuerst wahrgenommene auffallende Unterschied, welcher bei der in einem Drahte durch einen galvanischen Strom erzeugten Wärme auftritt, je nachdem der Draht von atmosphärischer Luft oder von Wasserstoffgas umgeben ist. Hat man nämlich einen Draht durch einen galvanischen Strom in atmosphärischer Luft zum Weißglühen gebracht und stülpt dann ein Gefäß mit Wasserstoff darüber; so erlischt sein Licht plötzlich. — Noch interessanter ist in dieser Beziehung folgender ebenfalls von Grove zuerst angestellter Versuch. In den Schließungsbogen einer Volta'schen Säule schalte man zwei ganz gleiche Stücke Platindraht ein, welche schraubenförmig gewunden in zwei Glasröhren eingeschlossen sind, deren eine Sauerstoff, die andere Wasserstoff enthält, und lege diese Röhren in zwei gleiche mit gleichen Mengen Wasser versehene Gefäße. Schließt man nun die Kette dergestalt, daß beide Drähte von demselben Strome durchflossen werden; so wird der im Sauerstoff befindliche Draht weißglühend, während der in Wasserstoff befindliche sich auf keine sichtbare Weise erhitzt. Zugleich zeigten die in das Wasser eingesenkten Thermometer, daß die Temperatur desselben in den beiden Gefäßen in verschiedenem Grade gestiegen ist, nämlich in dem die Sauerstoffröhre umgebenden 5 bis 6 Grad höher als in dem die Wasserstoffröhre umgebenden.

Der Grund dieses auffallenden Unterschiedes liegt einerseits in der verschiedenen Wärmeabgabe des Drahtes in verschiedenen Gasen und anderseits in seinem mit der Temperatur sich abändernden Leitungswiderstande. Das Wasserstoffgas, welches den Draht schneller abkühlt, vermindert dessen

Leitungswiderstand, was eine geringere Wärmeentwickelung zur Folge hat. Dagegen hat der Draht, welcher von dem weniger gut abkühlenden Sauerstoffgase umgeben ist, einen größeren Leitungswiderstand, welcher seinerseits wiederum eine größere Wärmeproduction bedingt. — Dieselbe Erklärung gilt für alle ähnliche Erscheinungen, welche Grove mit andern Gasen erhalten hat, insoweit sie ein verschiedenes Abkühlungsvermögen besitzen. Der Unterschied der Temperatur des Wassers in den als Calorimeter dienenden Gefäßen war jedesmal um so geringer, je weniger die Gase hinsichtlich ihrer abkühlenden Wirkung von einander abweichen. So betrug jener Temperaturunterschied bei Wasserstoff und ölbildendem Gase weniger, dagegen bei Wasserstoff und Stickstoff mehr als bei Wasserstoff und Sauerstoff. — In Aetherdampf erlischt das Glühen des Drahts beinahe so vollständig wie im Wasserstoffgas, was vermuthen läßt, daß der Aetherdampf und das Wasserstoffgas einerlei Abkühlungsvermögen haben.

Ueberhaupt wird jedes Mittel, welches die Wärmeabgabe des Drahtes ändert, im Wesentlichen die nämlichen Erscheinungen wie die Anwendung verschiedener Gase hervorbringen. Ein solches Mittel hat schon Grove versucht, indem er die Drähte in verdichtete und verdünnte atmosphärische Luft brachte. Das von ihm gefundene Resultat, daß der Draht in verdünnter Luft heißer als in verdichteter wurde, war vorauszusehen, da letztere ein stärkeres Abkühlungsvermögen als erstere besitzt. — Ein anderes Mittel besteht darin, die Oberfläche des Drahtes zu ändern. Man nehme zwei Drähte von gleichem Stoffe, gleicher Länge und gleichem Querschnitte, welche sich nur dadurch von einander unterscheiden, daß der eine cylindrisch und der andere platt gewalzt ist. Der letztere hat eine größere Oberfläche, besitzt mithin ein größeres Abkühlungsvermögen als der erstere. Zwei dergleichen Drähte verhalten sich in demselben Gase wie zwei gleiche Drähte in verschiedenen Gasen, indem der platte sich weniger erhitzt und in ihm weniger Wärme entwickelt wird.

Welchen Einfluß die umgebenden Mittel auf die Erhitzung von Metalldrähten durch den galvanischen Strom ausüben, darüber geben auch nachstehende zwei Versuche Aufschluß. Man schalte in den Schließungsbogen der Säule einen dünnen Platindraht und eine Tangentenbussole ein. In freier Luft kommt der Draht zum Glühen. In kaltes Wasser eingetaucht hört der Draht auf zu glühen, wobei die Intensität des Stroms zunimmt, in dem Maße die Temperatur des Drahtes sinkt. Die Erklärung dieses Resultats ergibt sich von selbst: denn mit dem Sinken der Temperatur des Drahtes wird dessen Leitungswiderstand vermindert, was eine Steigerung der Stromstärke nach sich zieht. — Man kühle einen Theil eines durch einen galvanischen Strom rothglühend gemachten Drahtes durch ein Stück Eis ab; die übrigen nicht abgekühlten Stellen des Drahtes

nehmen sofort eine höhere Temperatur an, werden weißglühend und können selbst zum Schmelzen kommen. Diese Erscheinung läßt sich ebenfalls leicht erklären. Durch die Abkühlung eines Theiles des Schließungskreises wird der Widerstand desselben vermindert, was wieder eine Vermehrung der Stromstärke zur nothwendigen Folge hat. Indem so die nicht abgekühlten Theile des Drahtes von einem intensiveren Strome durchflossen werden, müssen sich dieselben stärker erhitzen.

## 2. Lichteffecte der Volta'schen Ströme.

Die Lichtwirkungen der Volta'schen Säule äußern sich entweder in Funken, welche zwischen den Polen überspringen, oder in lebhaften Flammbogen, welche von den in den Schließungskreis eingeschalteten Leitern ausstrahlen. Der galvanische Funke entsteht beim Schließen und Oeffnen der Kette; er ist in einer Lichtflamme und unter Wasser noch sichtbar. Wenn man die Drahtenden, an denen die Funken überspringen, mit Quecksilber amalgamirt, nimmt der Funke an Helligkeit zu. Der galvanische Funke hat im Vergleich zu dem gewöhnlichen elektrischen Funken eine weit geringere Ausdehnung, weil die Spannung des galvanischen Stromes viel unbedeutender ist als jene der Reibungselektricität. — Beim Oeffnen der Kette kommt übrigens die Funkenerscheinung leichter zum Vorschein als beim Schließen derselben. Von diesem verschiedenen Verhalten vermögen wir Rechenschaft zu geben. Werden nämlich die Enden der Schließungsdrähte allmählig einander genähert, so kann nicht eher ein Funke zwischen ihnen überspringen als bis der Widerstand der Luft überwunden worden, was wegen der geringen Spannung der Elektricität nur bei sehr kleinen Entfernungen geschieht. Beim Oeffnen der Kette ist dagegen der Widerstand der eingeschalteten Luftschichte anfänglich sehr gering, der nur nach und nach größer wird. Im ersten Augenblick des Oeffnens der Kette vermag die elektrische Spannung diesen Widerstand noch zu überwältigen; auf ähnliche Weise werden die weiteren Widerstände, welche beim allmähligen Entfernen der Enden der Schließungsdrähte hervortreten, durch die sich beständig erneuernden elektrischen Spannungen überwunden. So kommt es denn, daß der galvanische Funke beim Oeffnen der Kette auf eine größere Weite überspringt, als es bei der Schließung der Kette der Fall gewesen. Schöne herumsprühende Funken kann man erhalten, wenn man den einen Pol der Batterie mit einer eisernen Feile verbindet und ein mit dem andern Pol verbundenes Eisenstück darüber hinführt. Bei dem dabei rasch aufeinander folgenden Oeffnen und Schließen der Kette entsteht ein lebhaftes Funkensprühen, welches von losgerissenen glühenden Eisentheilchen herrührt. — Anders gestaltet sich der galvanische Funke, wenn man den einen Polardraht in Quecksilber eintaucht oder daraus heraus-

zieht, welches mit dem andern Pole in leitender Verbindung steht. Man sieht dann einen abgerundeten lebhaften weißen Funken, welcher von einem klatschartigen Geräusche begleitet ist. Wahrscheinlich veranlaßt auch hier die Verbrennung des Quecksilbers die Lichterscheinung.

Doch läßt sich der galvanische Funke wie der gewöhnliche elektrische Funke nicht immer einer Verbrennung zuschreiben. Denn er zeigt sich wie der andere unter Umständen, in denen eine eigentliche Verbrennung unmöglich ist, wie z. B. im Wasser, im Stickstoffe. Auch ist der galvanische Funke, wenn er in seiner einfachsten Form auftritt, weder ein eigentlicher Funke, noch kann derselbe einem blosen Verbrennen zugeschrieben werden. — Schließt man nämlich eine schwache Batterie durch zwei feine Platindrähte, die öfters einander genähert und wieder getrennt werden, damit kein Glühen stattfinde; so sieht man mittelst einer Loupe, daß die negative Spitze mit außerordentlich feinen Pünktchen von blendend weißem Lichte bedeckt ist, welche von einer schwachen violetten Lichthülle eingehüllt sind. Am positiven Draht erscheinen jene Lichtpünktchen nicht, dagegen fängt derselbe zuerst zu glühen an. — In stark verdünnter Luft und bei geringer Entfernung der Enden der Polardrähte wird nur der negative Pol mit Glimmlicht bedeckt; erst bei geringer Verdünnung und größerer Entfernung kommt auch der positive Pol zum Glimmen. — Entladet man eine starke Batterie durch zwei kegelförmig auslaufende Eisencylinder, welche ihre Spitzen einander zuwenden; so findet man bei der Berührung mit der Hand das mit dem negativen Pole verbundene Eisen noch kalt, während das mit dem positiven Pole in Verbindung stehende schon heiß ist.

Eine bedeutende Steigerung des Lichteffectes tritt ein, wenn man an beiden Polen Kohlenspitzen anbringt und diese bis zur Berührung nähert. Die Kohlen gerathen bald in ein lebhaftes Weißglühen; wenn man sie langsam von einander entfernt, bildet sich zwischen ihnen ein continuirlicher Lichtstrom, der galvanische Flammbogen. Bei einer Säule von mehreren hundert Elementen kann man in freier Luft die Kohlenspitzen bis auf 6 Centimeter von einander entfernen, ohne daß dadurch der Lichtbogen unterbrochen würde. — Im luftverdünnten Raume kann der Abstand der Polspitzen noch größer werden; die Elektricität strömt in der Form einer gebogenen glänzenden Lichtmasse über, wobei die Kohlen mit Lebhaftigkeit glühen. Auch wenn die Kohlenspitzen unter Wasser getaucht sind, zeigt sich der galvanische Bogen, doch ist er dann kürzer und weniger intensiv. Hieraus folgt, daß das Licht und die Wärme nicht von der Verbrennung der Kohlenstücke herrühren, sondern eine unmittelbare Wirkung des galvanischen Stromes sind. — Die Entladung ist immer mit einer Ueberführung sehr fein zertheilter Materie verknüpft; dafür spricht die Gestaltveränderung, welche die beiden Kohlspitzen erleiden. Bei näherer Betrachtung

des Phänomens zeigt sich das Ende der positiven Kohle mehr oder weniger ausgehöhlt, während die negative Kohlenspitze längere Zeit fast unverändert bleibt, was auf eine stärkere Ueberführung materieller Theilchen vom positiven zum negativen Pol als in der umgekehrten Richtung schließen läßt. Am positiven Pole ist die Wärmeentwickelung beträchtlicher als am negativen; denn unterbricht man den Strom, nachdem die Erscheinung längere Zeit angedauert hat, so sieht man den positiven Pol noch rothglühend, während der negative vollkommen dunkel erscheint.

Davy, welcher das Phänomen des galvanischen Flammbogens zuerst hervorbrachte, bediente sich dazu gewöhnlicher Holzkohle, die vorher glühend gemacht und in einem Quecksilberbade abgelöscht worden war. Mit großem Vortheile kann man statt dieser Kohlenstücke auch Stäbe anwenden, welche aus der Bunsen'schen Kohlenmasse verfertigt sind, oder passende Stäbe von der Kohle gebrauchen, welche sich an den Wänden der Gasretorten absetzt. Um die Lichtstärke noch zu erhöhen, wird diese Kohle mit Lösung von Borax, salpetersaurem Strontian getränkt. Der galvanische Flammbogen entsteht gleichfalls, wenn beide Pole durch Metall gebildet sind. Bei leicht schmelzenden oder leicht oxydirbaren Metallen, wie Zink oder Eisen, ist er größer als beim Platin oder Silber. Auch nimmt der Flammbogen an Ausdehnung zu, wenn man die Metalle künstlich durch eine Weingeistlampe erhitzt. Daraus geht hervor, daß die Länge des Lichtbogens in Beziehung steht zur größeren oder geringeren Leichtigkeit, mit welcher sich die Substanz der Pole zu zertheilen fähig ist; eine Leichtigkeit, welche von der Schwächung ihrer Cohäsion durch Temperatur, von ihrer Tendenz zur Oxydation, von ihrem Molecularzustand und von ihrer eigenthümlichen Natur abhängt. Die Molecularbeschaffenheit der Kohle macht sie zu einer derjenigen Substanzen, welche den längsten Flammbogen liefern. Bei Anwendung ungleichartiger Polspitzen erleidet das Phänomen die eine oder die andere Modification. Besteht der positive Pol aus Silber, der negative aus Kohle, so bildet sich der Flammbogen leicht; das Silber schmilzt nach kurzer Zeit und man kann die Pole ziemlich weit von einander entfernen, ohne den Flammbogen zu unterbrechen. Bei Umkehrung des Stromes bildet sich der Lichtbogen ebenfalls leicht; er verschwindet aber, sobald das Silber zu schmelzen beginnt. Platin und Kohle zeigen ein ähnliches Verhalten, doch in einem minder hervortretenden Grade. Ein Kupferdraht verbrennt mit grünlichem Licht und ein Eisendraht unter lebhaftem Funkensprühen, wenn sie bei der Bildung des galvanischen Flammbogens an die Stelle des einen Kohlenpoles treten. — Wendet man statt der positiven Kohlenspitze einen stärkeren Kohlencylinder an, an dessen Ende eine kleine mit Metallstücken ausgefüllte Höhlung angebracht ist und schließt den Strom durch Berührung des Metalls mit der negativen Koh-

lenspitze; so schmilzt letzteres bald und der Lichtbogen bildet sich wie gewöhnlich, wobei glühende Metalltheilchen vom positiven zum negativen Pole übergehen. Eine Ueberführung materieller Theilchen findet, wenn auch vorherrschend, doch nicht ausschließlich vom positiven zum negativen Pol statt, wie van Breda gefunden hat. Denn als er im leeren Raum experimentirte und den Uebergang des Stromes zwischen zwei als Pole dienenden Eisenkugeln durch eine starke galvanische Säule leitete, ergab sich, daß das Gewicht der positiven Kugel um 309 Milligramme und das der negativen um 55 Milligramme abgenommen hatte. — Zahlreiche Versuche in großartigem Maßstabe über die Wärmewirkung des Flammbogens hat Despretz ausgeführt. Er wendete dabei eine in mehrere Reihen aufgestellte Batterie von 500 Zinkkohlenelementen an. Außerdem combinirte er die Hitze des Flammbogens mit der Wärme des Sonnenlichtes und der Flamme des Knallgasgebläses. Die Wirkung der Säule wurde durch Hinzuthun dieser mächtigen Mittel ungemein erhöht. Kohle wurde so vollständig in Dampf verwandelt, der Diamant geschmolzen, Kalk, Talkerde, Zinkoxyd, Thonerde geschmolzen und verdampft.

Ueber die Intensität des elektrischen Kohlenlichtes hat Casselmann Versuche angestellt. Er bediente sich bei denselben eines Bunsen'schen Photometers, wie solches in unserer Optik beschrieben worden ist. Die Kohlenstücke waren aus der nämlichen Masse angefertigt, welche zur Herstellung der Kohlencylinder der Bunsen'schen Kette gebraucht wird; sie waren jedoch auf verschiedene Weise präparirt worden, indem sie in verschiedenen Lösungen getränkt und nochmals stark geglüht wurden. Dergleichen Kohlenstücke lieferten einen ruhigen Lichtbogen, welcher bei einer Säule von 44 Bunsen'schen Elementen bei einem Abstande der Kohlenspitzen von 7 bis 8 Millimeter erlosch, während der unruhige Lichtbogen der rohen Kohle schon bei 5 Millimeter Entfernung verschwand. In den Schließungskreis war gleichzeitig eine Tangentenbussole eingeschaltet, so daß die jeder gemessenen Lichtstärke entsprechende Stromstärke ermittelt werden konnte. Nachstehende Tabelle enthält die Lichtstärke des Flammbogens verglichen mit der Lichtstärke einer Stearinkerze und zwar für jede Kohlenart einmal bei ganz kleiner, dann möglichst großer Entfernung der Kohlenspitzen.

| | Entfernung der Kohlenspitzen. | Stromstärke tang $\alpha$. | Lichtstärke. |
|---|---|---|---|
| Rohe Kohle | 0,5 Millimeter | 1,359 | 932 |
| | 4,5 „ | 0,971 | 139 |
| Kohle mit salpetersaurem Strontian | 0,5 „ | 1,714 | 353 |
| | 6,75 „ | 1,257 | 274 |

| | Entfernung der Kohlenspitzen. | Stromstärke tang $\alpha$. | Lichtstärke. |
|---|---|---|---|
| Kohle mit Aetzkali | 2,5 Millimeter | 1,443 | 150 |
| | 8 „ | 1,171 | 75 |
| Kohle mit Zinkchlorid | 1 „ | 1,143 | 624 |
| | 5 „ | 0,957 | 159. |

Wir sehen hieraus, daß mit der Entfernung der Spitzen die Lichtstärke und die Stromstärke abnimmt. Durch Behandlung der Kohle mit andern Substanzen ist der Lichtbogen zwar ruhiger und eine größere Entfernung der Kohlenspitzen möglich, aber keine größere Lichtstärke erzielt worden. — Bei einerlei Entfernung der Kohlenspitzen und verschiedenen Stromstärken ergab sich, daß die Lichtstärke in einem etwas rascheren Verhältnisse als die Stromstärke wächst.

Foucault und Fizeau haben das elektrische Kohlenlicht mit dem Sonnenlichte und dem intensiven Kalklichte hinsichtlich der Stärke ihrer chemischen Wirkungen verglichen. Sie ließen zu diesem Behufe auf einer im Brennpunkte einer achromatischen Linse aufgestellten jodirten Silberplatte nach einander das Bild der Sonne, des Kohlenlichtes und des Kalklichtes entstehen. Die Zeiten, welche nöthig waren, um das photographische Bild zu erzeugen, stehen dann im umgekehrten Verhältniß der chemischen Intensitäten der verschiedenen Lichtquellen. — Auf diese Weise fanden sie, die Intensität des Sonnenlichtes als 100 angenommen, die Intensität des Kohlenlichtes von 46 Zinkkohlenelementen = 23,5 und die Intensität des Drummond'schen Kalklichtes = 0,68. Das elektrische Kohlenlicht ist hiernach viel intensiver als das Kalklicht und nähert sich stärker dem Sonnenlichte. — Die Vermehrung der Zahl der Elemente ist nur von geringem Einfluß auf die Intensität des Lichtes: denn als die Zahl der Elemente von 46 auf 80 vermehrt wurde, stieg die Lichtstärke von 23,5 nur auf 23,8 an. — Dagegen wächst die Intensität des Lichtes schneller mit der Vergrößerung der Oberfläche der einzelnen Paare: denn mit einer Säule aus drei Reihen von je 46 Elementen, die schon eine Stunde lang thätig gewesen, erhielt man eine Lichtstärke von 38,5. Um ein schönes Licht hervorzubringen, muß man daher die Elemente zu einer aus mehreren Säulen bestehenden Batterie zusammenstellen.

Das Spectrum des galvanischen Lichtes hat die nämliche Beschaffenheit wie das Spectrum des gewöhnlichen elektrischen Lichtes, wenn ein und dieselbe Substanz als Elektrode gebraucht wird. Jede als Elektrode gewählte Substanz hat ihr eigenthümliches Spectrum, welches durch die Farbe und die Stellung seiner hellen Linien gekennzeichnet ist. Dergleichen helle Linien können daher füglich als Lichtausstrahlungen der materiellen Theilchen angesehen werden, welche im glühenden Zustande von einem

Pole zum andern übergehen. — Die Lage der hellen Linien im Spectrum des galvanischen Flammbogens ist unabhängig von der Zahl und Anordnung der Elemente, aus denen die Säule zusammengesetzt ist, wie dies in ähnlicher Weise bei dem Spectrum des Condensatorfunkens stattfindet, bei welchem die hellen Linien hinsichtlich ihrer Lage und Zahl ebenfalls von der Intensität des Funkens unabhängig sind. — Inzwischen hat man in neuerer Zeit in sämmtlichen elektrischen Spectren vier helle Lichtlinien aufgefunden, welche in Bezug auf ihre Farbe und ihre Stellung im Spectrum von der Natur der Elektricitätsquelle und der Elektroden in keinerlei Weise abhängen. Es läßt sich daher vermuthen, daß das Spectrum des elektrischen Lichtes aus zwei besonderen Spectren bestehe, deren eines das eigentliche Spectrum des elektrischen Stromes selbst, das andere das Spectrum der glühenden Körpertheilchen sei. — Die Beschaffenheit des galvanischen Spectrums ist wie das des gewöhnlichen elektrischen Lichtes von der Natur und der Dichtigkeit des gasförmigen Mittels unabhängig, in welchem die Lichterscheinung erzeugt wird; was abermals den Beweis liefert, daß das elektrische Licht nicht der blose Akt einer Verbrennung sein kann.

Arago sprach die Vermuthung aus, daß der Erdmagnetismus und künstliche Magnete auf den Lichtbogen einen Einfluß äußern müßten. Die Richtigkeit dieser Vermuthung ist von Davy, Casselmann, de la Rive und Andern bestätigt worden. Denkt man sich nämlich die beiden Kohlenspitzen in einerlei Horizontalebene liegend und durch die glühenden Anfangspunkte des Lichtbogens eine senkrechte Ebene gelegt, so wird der höchste Punkt dieses Bogens sich nie in jener Ebene, sondern auf der einen oder der andern Seite derselben befinden in Folge der Wirkung des Erdmagnetismus. Die Abweichung des Gipfelpunktes erfolgt nach Ost oder West, je nachdem der Strom von Nord nach Süd oder von Süd nach Nord geht; dagegen geschieht die Abweichung nach Nord oder Süd, wenn der Strom von West nach Ost oder von Ost nach West fließt. Von den in Rede stehenden Erscheinungen können wir uns auf theoretischem Wege Rechenschaft geben, wenn wir einen von Ost nach West herumgehenden Erdstrom annehmen und diesen Strom mit unserem galvanischen Strom combiniren. Wir brauchen bei dieser Zusammenstellung nur die Thatsache festzuhalten, daß zwei parallele und gleichgerichtete, und zwei sich kreuzende Ströme, wenn beide nach dem Scheitelpunkt hin oder von demselben fortlaufen, einander anziehen; zwei parallele und entgegengesetzte und zwei sich kreuzende Ströme, deren einer nach dem Scheitelpunkt geht und der andere davon sich entfernt, einander abstoßen.

Nähert man dem galvanischen Lichtbogen den Pol eines starken Magnets, so wird der Bogen aus seiner ursprünglichen Stellung abgelenkt,

von dem Magnet angezogen oder abgestoßen: kurz, der Lichtbogen verhält sich wie ein vom Strome durchflossener beweglicher fester Leiter. — Bringt man den Lichtbogen zwischen die Pole eines Hufeisenmagnets, dergestalt, daß sein Nordpol über und sein Südpol unter dem Strome steht, und bewegt dann den Magnet mit dem Nordpol vornen um den Strom so, daß derselbe stets zwischen den beiden Polen bleibt; so wird der Bogen bei jeder Stellung des Magnets in das Hufeisen hinein gezogen. — Nach Verwechslung der Pole des Magnets und Wiederholung des Versuches neigt sich der Bogen aus dem Hufeisen.

Wird ein magnetischer Stahlstab statt eines Kohlenpols als Elektrode benutzt, so rotirt der sich bildende Lichtbogen um den Stahlstab herum. Wenn der Strom von West nach Ost fließt, dabei der Magnetstab mit seinem Südpol der Kohlenspitze gegenüber steht und der Strom in ihm vom Südpol zum Nordpol geht; so erfolgt die Rotation des Bogens von Nord nach Süd. Der Bogen rotirt im entgegengesetzten Sinne, wenn bei der nämlichen Richtung des Stromes der Nordpol des Magnets der Kohlenspitze gegenübersteht, mithin in demselben der Strom vom Nordpol zum Südpol fließt.

De la Rive brachte die Kohlenspitzen zwischen die sehr genäherten Polflächen eines starken Elektromagnets. Wenn der Apparat in Thätigkeit gesetzt wurde, erschien das galvanische Licht in Gestalt eines seitwärts ausgestreckten hellglänzenden Spießes von hoher Temperatur, dessen Richtung mit dem Sinne des magnetisirenden Stromes sich änderte. Die Kohlenspitzen konnte man aber, ohne den Lichtbogen zu unterbrechen, nicht weiter als einen Millimeter weit von einander entfernen. — Bei größerem Abstande der Pole des Elektromagnets verminderte sich die Ausdehnung des Lichtspießes; gleichzeitig nahm der Abstand zu, welchen man den Kohlenspitzen zu ertheilen vermochte, ohne daß die Lichterscheinung verschwand. — Von einer gewissen Entfernung der Magnetpole an zeigte sich kein Lichtspieß mehr, sondern man bemerkte an dem Bogen nur eine schwache Krümmung, welche bei noch größerer Entfernung gänzlich aufhörte. — Die Erscheinung ward von einem eigenthümlichen Brausen begleitet, wie man es beim Löthrohrblasen wahrnimmt; auch war in dem Augenblicke, in welchem der Lichtbogen in Folge der Entfernung der Kohlenspitzen unterbrochen wurde, ein plötzlicher Knall hörbar, ähnlich dem der Entladung einer Leidener Flasche.

### 3. Anwendung des galvanischen Glühens und des galvanischen Lichtes.

Das Erglühen von Metalldrähten durch den galvanischen Strom hat man angewendet, um Schießpulver zu entzünden beim Zersprengen von Felsen.

Man legt zu diesem Behufe zwei Kupferdrähte, jeder von 2,5 Meter Länge von etwa 2 Millimeter Dicke und gut mit wohl gewichstem Wollengarn übersponnen, dicht neben einander und dreht alsdann die beiden Drähte auf eine Länge von 15 Centimeter hin zusammen bis auf zwei Hörner von etwas über 1 Centimeter Länge, die am freien Ende gegen 1 Centimeter von einander abstehen. Zwischen den freien Enden, nachdem sie von ihrer Bedeckung befreit und mit der Feile geputzt worden, wird der feine eiserne Entzündungsdraht ausgespannt. Derselbe wird bei jeder Explosion vernichtet; damit dies nicht auch mit den kupfernen Leitungsdrähten geschehe, werden die beiden Drähte gehörig mit Bindfaden umwickelt. — Der feine Eisendraht befindet sich in der Mitte einer Zinnröhre von 6 Centimeter Länge und 2 Centimeter Weite, welche zusammengelöthet und vollkommen wasserdicht ist. Um den Draht an seiner Stelle zu erhalten, läßt man die gedrehten Drähte durch einen Kork hindurch gehen, welcher an dem einen Ende der Röhre steckt. Die Hörner dürfen die Röhrenwand nirgends berühren; deßhalb wird der Kork mit einem Kitt überzogen, der aus einem Theil Bienwachs und zwei Theilen Harz besteht. Nun wird von dem offenen Ende her die Zinnröhre mit trockenem Jagdpulver gefüllt, dann ebenfalls daselbst ein Kork eingesetzt, der wie der am andern Ende befindliche wohl verpicht werden muß. — Nachdem das in den zu sprengenden Felsen gemachte Bohrloch von Staub und Feuchtigkeit gereinigt worden, schüttet man die Hälfte der beabsichtigten Pulverladung in das Loch, stellt die Zinnröhre oder Patrone darauf und schüttet den übrigen Theil der Ladung darüber. Die Patrone befindet sich so in der Mitte der Ladung und ihre langen zusammengewickelten Drähte ragen ohngefähr einen halben Meter über dem Felsen hervor. Ein Pfropf von Werg wird sanft in das Loch hinuntergeschoben, so daß zwischen ihm und dem Pulver ein mehr oder weniger ausgedehnter lufterfüllter Raum übrig bleibt. Auf den Pfropf kommt trockener Sand, bis das Loch voll ist. — Die beiden gabelförmig auseinander stehenden Enden der Patronendrähte werden hierauf durch Zuleitungsdrähte mit der 15 bis 20 Meter weit entfernten Batterie verbunden. Die Zuleitungsdrähte sind ebenfalls übersponnene Kupferdrähte von etwa 2 Millimeter Dicke; sie werden nebeneinander gelegt und zusammen mit Faden umwickelt, nur ihre freien Enden stehen auf beiden Seiten gabelförmig auseinander, um einerseits mit den Patrondrähten und anderseits mit den Polen der Batterie in Verbindung gesetzt werden zu können.

Um die Schließung der Kette, also die Entzündung des Schießpulvers ohne Gefahr aus der Ferne mittelst einer Schnur bewerkstelligen zu können, hat Roberts folgende Vorrichtung erdacht. An den zwei gegenüberstehenden Enden des Kastens, in welchen die Batterie aufgestellt ist, ragen

zwei hölzerne Pfeiler empor, welche oben durch einen 3 Centimeter dicken cylindrischen Holzstab verbunden sind. An dem einen Ende desselben ist eine Metallscheibe A von etwa 8 Centimeter Durchmesser festgemacht und an ihr ein Draht angelöthet, welcher zu einem Pole der Batterie führt. Eine zweite Metallscheibe B, welche sich auf dem Holzstabe leicht verschieben läßt, wird durch einen federnden, spiralförmig um den Holzstab gewundenen am Ende desselben befestigten Metalldraht von der Scheibe A entfernt gehalten. Das freie Ende des Spiraldrahtes ist an dem einen Leitungsdraht befestigt, dagegen der andere Leitungsdraht mit dem zweiten Pole der Kette verbunden ist. Sobald die Metallscheiben A und B in Berührung kommen, circulirt der Strom und macht den Eisendraht glühend, der in der Drahtleitung sich befindet. — Um aus der Ferne die Platte B gegen A hinziehen zu können, läßt man durch zwei an der Platte B angebrachte Oeffnungen eine Schnur hindurchgehen, deren Enden durch zwei entsprechende Oeffnungen der Scheibe A gezogen in einiger Entfernung davon miteinander verbunden sind. Von diesem Vereinigungspunkte geht dann eine längere Schnur nach dem Orte hin, von welchem aus man die Schließung der Kette besorgen will. — Um die durch ein zu frühzeitiges zufälliges Anziehen der Schnur hervorgehende Schließung der Kette zu verhindern, wird ein Stift durch den cylindrischen Holzstab zwischen die Platten A und B gesteckt. Erst nach der Hinwegnahme dieses Stiftes kann durch Anziehen der Schnur die Schließung der Kette und damit die Entzündung des Schießpulvers erfolgen.

Dieses Verfahren gestattet auch eine Entzündung des Pulvers unter Wasser vorzunehmen. Zu diesem Behufe wird die zur Sprengung nöthige Pulvermasse in wasserdicht verschlossene Blechbüchsen gefüllt, welche man an den Ort bringt, wo sie ihre Wirkung thun sollen. Die Zuleitungsdrähte müssen, so weit sie ins Wasser eintauchen, mit einer isolirenden Substanz, etwa Guttapercha, überzogen sein; denn die Berührung mit Wasser würde eine Nebenschließung zur Folge haben, wodurch nur ein kleiner Theil des von der Batterie gelieferten Stromes für den dünnen Eisendraht übrig bliebe.

Die eben beschriebene Methode läßt sich nicht mehr mit dem gewünschten Erfolg anwenden, wenn man mehrere benachbarte Minen gleichzeitig durch einen galvanischen Strom entzünden will. Es läßt sich nämlich nicht leicht dahin bringen, daß die dünnen Eisendrähte in den verschiedenen Sprengpatronen vollkommen gleich ausfallen, wenn sie auch alle gleichzeitig in den Strom eingeschaltet werden. So kommt es denn, daß ein Draht vor dem andern erglüht; eine einzelne Patrone wird zunächst entzündet und die dazu gehörige Mine in die Luft gesprengt, was eine Unterbrechung des Stromes nach sich zieht, wodurch die andern in die Leitung einge-

schalteten Minen ungezündet bleiben. Im besagten Falle ist die Entzündung durch den Inductionsfunken, von welchem bald die Rede sein wird, der Entzündung durch den glühenden Draht vorzuziehen. Indem der Inductionsfunke gleichzeitig in den verschiedenen Minen auftritt, werden dann dieselben auch gleichzeitig zum Entzünden kommen. Damit die Entzündung noch sicherer vor sich gehe, füllt man die Unterbrechungsstellen, an denen der Funke überspringen soll, mit einem Gemisch aus chlorsaurem Kali und Schwefelantimon aus, dessen Entzündung sich dem Pulver mittheilt.

Die große Lichtstärke des galvanischen Kohlenlichtes mußte bald auf die Idee führen, dasselbe zur Beleuchtung zu verwenden. Wenn man das elektrische Kohlenlicht praktisch zur Beleuchtung benutzen will, bringt man gewöhnlich den Flammbogen in den Brennpunkt eines parabolischen Hohlspiegels und trägt durch eine geeignete Vorrichtung dafür Sorge, daß die beiden Kohlenspitzen, welche während des Gebrauches der Abnutzung unterworfen sind, in gehörigem Abstande von einander gehalten werden, damit der Flammbogen keine Unterbrechung erleide. Eine sehr passende Vorrichtung zur Erreichung dieses Zweckes hat Duboscq in Paris construirt, welche mit gutem Erfolg bei dem photoelektrischen Mikroskop angewendet worden, von dem der Schluß des zweiten Bandes unserer Physik eine kurze Beschreibung enthält. — Bei dem Mikroskope, wo es auf die Concentrirung einer großen Lichtmenge auf wenige Punkte ankommt, hat das galvanische Licht recht gute Dienste geleistet. Weniger vortheilhaft ist es doch zur Beleuchtung von Straßen und Sälen befunden worden, indem bei zweckmäßiger Vertheilung vieler schwächerer Lichtquellen eine gleichförmigere angenehmere Beleuchtung erzielt wird, als wenn eine ihnen äquivalente Lichtmenge von einem einzigen Punkte ausströmt.

## 4. Galvanisches Tönen. — Einfluß des galvanischen Stromes auf die Elasticität der Metalle.

Der Amerikaner Page hat zuerst beobachtet, daß die Magnetisirung des Eisens durch einen galvanischen Strom öfters von einer eigenthümlichen Tonbildung begleitet ist. Nach Wertheims Angabe läßt sich das galvanische Tönen an Eisenstäben am besten wahrnehmen, wenn man einen etwas langen Eisenstab in seiner Mitte einklemmt, daß er horizontal liegt; alsdann über seine beiden Hälften lange kräftige Magnetisirungsspiralen so steckt, daß sie den Stab nirgends berühren. Sobald man den Strom, welcher die Spiralen durchläuft, schnell hintereinander herstellt und wieder unterbricht, hört man einen Ton, der dem durch Reiben des Stabes erzeugten Longitudinalton gleich ist. — Der Querschnitt des Stabes ist dabei von keinem Einflusse. Stahlstäbe tönen ebenfalls, aber Stäbe von anderen Metallen und Nichtleitern geben keinen Ton.

Wertheim hat auch mit dem durchgeleiteten Strome Töne hervorgebracht. Um sie in einem Eisenstabe zu erzeugen, befestigte er an jedem Ende des Stabes dünne Messinghäkchen und tauchte dieselben in Quecksilbernäpfchen. Jedesmal hörte er den Longitudinalton, wenn der Strom hergestellt und unterbrochen wurde. — Derselbe Stab gibt den nämlichen Ton, wenn der Stab auch nicht seiner ganzen Länge nach, sondern nur theilweise von dem Strom durchlaufen wird; wie es der Fall ist, wenn man die den Strom einleitenden Häkchen von den Enden wegrückt: der Ton wird desto schwächer, je kürzer das vom Strom durchflossene Stück ist. — Stahlstäbe lassen denselben Ton vernehmen, Stäbe von anderen Metallen geben keinen Ton. Die Stärke des Tones nimmt mit der Intensität des Stromes zu und ab. Mit Eisen und Stahlstäben von verschiedenem Durchmesser erhält man den Longitudinalton sehr rein, wenn sie auf einem Resonanzboden stark ausgespannt sind; dagegen vernimmt man neben diesem Längston in allen Theilen des Stabes ein eigenthümliches Geklirr, wenn die Spannung vermindert wird.

Nach Wertheims Untersuchungen ist die Ursache des galvanischen Tönens eine plötzliche Formveränderung, welche das Eisen oder der Stahl durch den äußeren wie durch den durchgeleiteten Strom erfährt. Durch dergleichen plötzliche Formveränderungen gerathen die kleinsten Massentheilchen des Körpers in schwingende Bewegung, welche von Tönen begleitet sind. Es ist also unnöthig, zur Erklärung der Erscheinung irgend eine besondere Hypothese aufzusuchen; man kann vor der Hand nur darin verschiedener Meinung sein, auf welche Weise jene plötzliche Formveränderung durch den galvanischen Strom zu Stande kommt. — Um die mechanischen Wirkungen des Stromes auf eine Eisenstange näher zu prüfen, brachte Wertheim an den Enden des Stabes Mikroscope mit Fadenkreuzen an, durch welche er die geringste Ortsveränderung des Stabes zu beobachten vermochte. Wenn die Drahtspirale möglichst nahe am freien Ende des Stabes sich befand und die Stabachse genau mit der Achse der Drahtrolle zusammenfiel, nahm Wertheim keine Seitenbewegung, sondern nur eine sehr kleine Verlängerung wahr, welche selten über 0,002 Millimeter ging. Befand sich der Stab nicht mehr in der Achse der Drahtrolle, so war die Verlängerung von einer Seitenbewegung begleitet. Bei einem quadratischen Stabe, dessen Seite 1 Centimeter und dessen Länge 997 Millimeter betrug, erreichte diese Seitenbewegung die Größe von 0,788 Millimeter, als der Stab 80 Millimeter aus der Mitte der Spirale gerückt war. — Diese Versuche zeigen, daß der durch die Spirale gehende Strom auf den innerhalb derselben befindlichen Eisenstab einen mechanischen Zug ausübt, welchen man als Resultante einer longitudinalen und transversalen Seitenkraft ansehen kann.

Poggendorf hat ein ähnliches Tönen in verschiedenen Metallröhren hervorgerufen, wenn sie die Magnetisirungsspirale umgaben. Bei seinen Versuchen wurde die 13,5 Centimeter lange und 14,88 Centimeter im Umfang haltende aus 34,5 Meter langen und 1½ Millimeter dicken Kupferdraht gebildete Spirale durch ein Stativ in senkrechter Stellung gehalten, dergestalt, daß sie am unteren Ende mit der Quelle des galvanischen Stromes in Verbindung gesetzt werden konnte. Ueber die Drahtspirale wurden von oben her die zu untersuchenden Röhren geschoben, welche der Länge nach entweder ganz offen oder ganz metallisch geschlossen oder nur so weit zusammengebogen waren, daß die Ränder des Blechs einander berührten. Als Material zu solchen Röhren wurde benutzt: Platin, Kupfer, Zinn, Messing, Zink, Neusilber, Blei und Eisen. — Unter Anwendung des unterbrochenen Stromes gibt das Eisen schon als ganz offene Röhre einen knisternden Ton. Dieser Ton ist aber weit schwächer als derjenige, welcher gehört wird, wenn die Ränder der Röhre sich berühren: es scheint dann zu dem ersteren Ton noch ein zweiter hinzu zu kommen. — Die anderen Metallröhren geben keinen Ton, wenn sie entweder vollkommen geschlossen oder ganz offen sind; sie lassen dagegen, wenn die Ränder der Röhren blos aneinander stoßen, einen deutlichen Ton vernehmen, der an Stärke und Klang verschieden ist nach den Dimensionen der Röhre, nach der Beschaffenheit und Elasticität ihres Materials und nach der Intensität des Stromes. — Durch Einschieben eines Eisendrahtbündels in die Spirale werden die Töne verstärkt; dagegen bedeutend geschwächt, wenn man in die tönende Röhre eine vollkommen geschlossene Metallhülse von geringerem Durchmesser so stellt, daß sie die Magnetisirungsspirale umgibt. — Aus den angeführten Versuchen geht unzweifelhaft hervor, daß die beobachtete Tonbildung zunächst ihren Sitz an der Stelle hat, wo die Ränder einander berühren, daß von hier aus Erschütterungen erfolgen, welche die Röhre in tönende Schwingungen versetzen. Ein anderer Verlauf findet jedoch bei der ganz offenen Eisenröhre statt, bei welcher in Folge ihrer Magnetisirbarkeit die Tonbildung als eine moleculare, ursprünglich in der ganzen Metallmasse vor sich gehende Erscheinung zu betrachten sein möchte. Ebenso könnte in dem Blei, welches sonst wenig Elasticität besitzt, durch den galvanischen Strom die Anordnung der Theilchen vielleicht eine andere werden, welche dem Entstehen einer akustischen Erscheinung förderlich sein kann.

Die eben besprochenen Erscheinungen lassen vermuthen, daß die Elasticität durch die Elektricität abgeändert werden könne. Wertheim hat es unternommen, diesen Gegenstand einer nähern Prüfung zu unterwerfen. Es geschah auf folgende Weise. Den einen Pol einer Bunsen'schen Säule

verband er mit einer Kupferstange, die am andern Ende zu einem Haken gekrümmt war. Dieser Haken ist in einem an einer Mauer befestigten eichenen Balken eingezwängt; daran wurde der auf seine Elasticität zu untersuchende Draht von einem Meter Länge gehängt. Das untere Ende des Drahts trug einen isolirten Haken zur Aufhängung der Gewichte und stand mittelst einer der ersten ähnlichen Kupferstange mit einem Galvanometer in Verbindung, dessen anderes Ende nach dem zweiten Pole der Säule ging. Auf dem Drahte waren zwei Merkstriche gezogen; durch Messung des Abstandes beider Merkstriche bei zwei Belastungen, deren eine blos zur Spannung des Drahtes hinreichte, die andere aber eine Verlängerung von 1 bis 2 Millimeter bewirkte, wurde der Elasticitätscoefficient zuvor ohne Wirkung des Stromes bestimmt. Alsdann ließ Wertheim Ströme von verschiedener Stärke durch den Draht gehen, wobei er jedesmal die Länge maß, welche der Draht unter den beiden Belastungen annahm. Aus der vergleichenden Zusammenstellung seiner Versuche ist Wertheim zu folgenden Resultaten gelangt: Der galvanische Strom bewirkt immer eine temporäre Verringerung des Elasticitätscoefficienten. Diese Verringerung hört jedoch mit dem Strom gänzlich auf, wie intensiv und wie lange er auch gewirkt haben mag. Für das Vorhandensein einer derartigen Wirkung der Elektricität spricht ebenfalls der Longitudinalton der Drähte, welcher sich vertieft, wenn der Strom dieselben durchläuft. Die Größe jener Verringerung hängt ab von der Stärke des Stromes und wahrscheinlich ebenfalls von dem Leitungswiderstande des Metalls. — Die angestellten Versuche, um den Einfluß des Stroms auf die Cohäsion zu bestimmen, lehren, daß der Strom eine Verringerung der Cohäsion bewirkt; es läßt sich jedoch nicht entscheiden, ob diese Verringerung der eigenen Wirkung des Stroms oder der ihn begleitenden Erwärmung zuzuschreiben sei. — Die über den Einfluß der Magnetisirung auf die Elasticität des Eisens gemachten Versuche zeigen, daß der andauernde Durchgang des elektrischen Stroms im weichen Eisen und Stahl eine kleine Verringerung des Elasticitätscoefficienten bewirkt, welche nach Unterbrechung des Stroms zum Theil sogar verbleibt. Bei einer kurzen Wirkung des Stromes ist keine Abänderung der Elasticität merklich, wiewohl der Magnetismus sich im weichen Eisen augenblicklich entwickelt. Es scheint demnach unter dem Einflusse der Magnetisirung sich blos eine andere Ordnung der Molecüle herzustellen.

# Dritter Abschnitt.

# Von der Inductionselektricität.

## I. Elektrische Induction (Elektroelektricität).

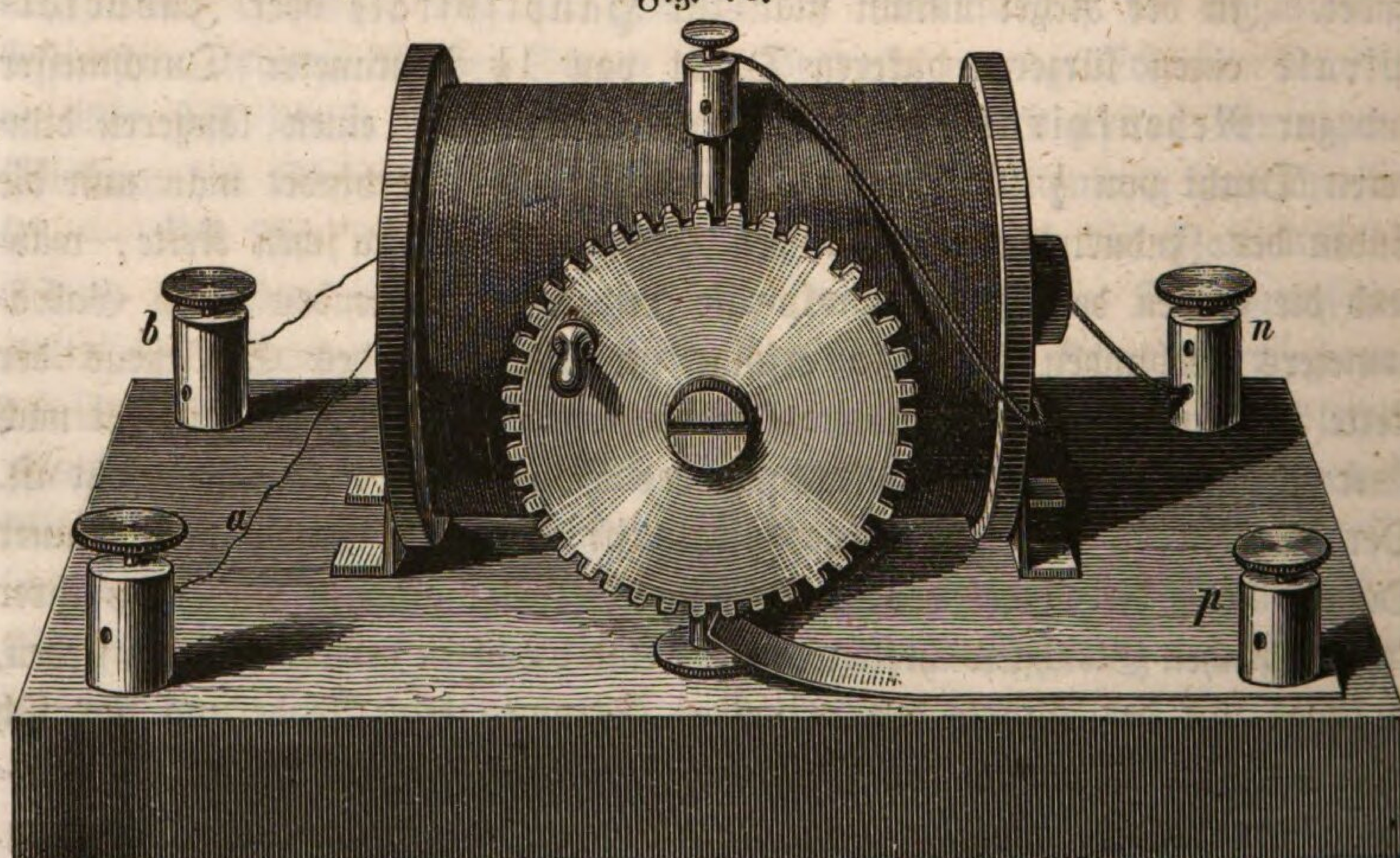
### 1. Voltainduction. — Inductionsapparat mit Unterbrechungsrad und mit magnetischem Hammer. — Schlitteninductionsapparate. — Apparat zur Trennung der beiden Inductionsströme.

Im Jahre 1831 hat Faraday die erfolgreiche Entdeckung gemacht, daß sowohl durch Elektricität als durch Magnetismus unter gewissen Umständen in guten in sich geschlossenen Leitern elektrische Ströme von momentaner Dauer erregt werden. Diese Art der Stromerregung heißt Induction, die so erzeugten Ströme heißen Inductionsströme; man nennt sie auch secundäre oder Nebenströme und den sie erregenden Strom primären oder Hauptstrom. Die Erregung eines Inductionsstromes mittelst eines galvanischen Stromes wird Voltainduction und die Erregung des Inductionsstromes durch Magnetismus Magnetoinduction genannt. — Um die Inductionsströme nachzuweisen, bediente man sich einer sogenannten Inductionsrolle. Dieselbe besteht aus zwei mit Seide übersponnenen Kupferdrähten, welche auf einen hohlen Cylinder von Holz oder Pappe spiralförmig neben und übereinander dergestalt gewunden sind, daß keine leitende Verbindung zwischen ihnen stattfindet. In der Regel nimmt man zur Hauptspirale oder Inductorspirale einen kürzeren dickeren Draht von 1½ Millimeter Durchmesser und zur Nebenspirale oder Inductionsspirale einen längeren dünneren Draht von ½ Millimeter Durchmesser. — Verbindet man nun die Enden der Inductorspirale mit den Polen einer Volta'schen Kette, während die Enden der Inductionsspirale mit den Drahtenden eines Galvanometers verbunden sind; so erfolgt im Momente des Schließens der Kette ein Ausschlag der Galvanometernadel. Die Ablenkung geschieht nach einer Richtung, welche der Richtung des Hauptstromes entgegengesetzt ist. Der Strom in der Inductionsspirale ist jedoch nur von momentaner Dauer, denn die Nadel des Galvanometers kehrt alsbald wieder zu ihrer ursprünglichen Gleichgewichtslage zurück und bleibt in derselben ruhig stehen, so lange mit der Stärke des primären Stromes keine Aenderung vor sich geht. — Im Momente der Oeffnung der Kette entsteht wieder ein Ausschlag der Nadel, aber in einer der vorigen entgegengesetzten Richtung. Ein galvanischer Strom inducirt mithin in einem benachbarten geschlossenen Leiter einen entgegengesetzten Strom bei seinem Entstehen und einen gleich gerichteten bei seinem Verschwinden.

Bringt man die feinen Drahtenden der Inductionsspirale mit einander in Berührung, so gewahrt man zwischen denselben helle Funken beim Oeffnen und Schließen der Kette. Dieser **Inductionsfunke** ist viel stärker als derjenige, welchen die Kette mit einem kurzen Schließungsleiter auf die gewöhnliche Art entladen liefert. — Verbindet man mit den Drahtenden der Inductionsspirale Metallcylinder, welche man mit befeuchteten Händen faßt; so empfindet man beim Oeffnen und Schließen der Kette eine Erschütterung. Dergleichen **Inductionsschläge** werden desto empfindlicher, je schneller sie auf einander folgen. — Stehen die Drahtenden der Inductionsspirale in leitender Verbindung mit den Enden eines auf einer Glasröhre gewickelten Drahtes, in welche man eine nicht magnetisirte Nadel legen kann; so vermögen die Inductionsströme der Nadel Magnetismus zu ertheilen. Die Nadel muß deßhalb entweder in der Glasröhre sich schon befinden, ehe die Kette geschlossen wird und vor Oeffnung der letzteren wieder entfernt werden. — Oder man muß die Nadel nach der Schließung der Kette in die Glasröhre legen und nach Unterbrechung des Stromes herausnehmen. Die Lage der im ersten Falle in der Nadel hervorgerufenen Pole ist die umgekehrte von der, welche sie im zweiten Falle haben.

Um das Oeffnen und Schließen der Kette in rascher Aufeinanderfolge vor sich gehen zu lassen, hat man verschiedene Vorrichtungen erdacht, welche man **Rheotome** nennt. Das einfachste Rheotom ist das **Unterbrechungsrad**, in Figur 76 dargestellt. Auf einem starken Brette stehen

Fig. 76.

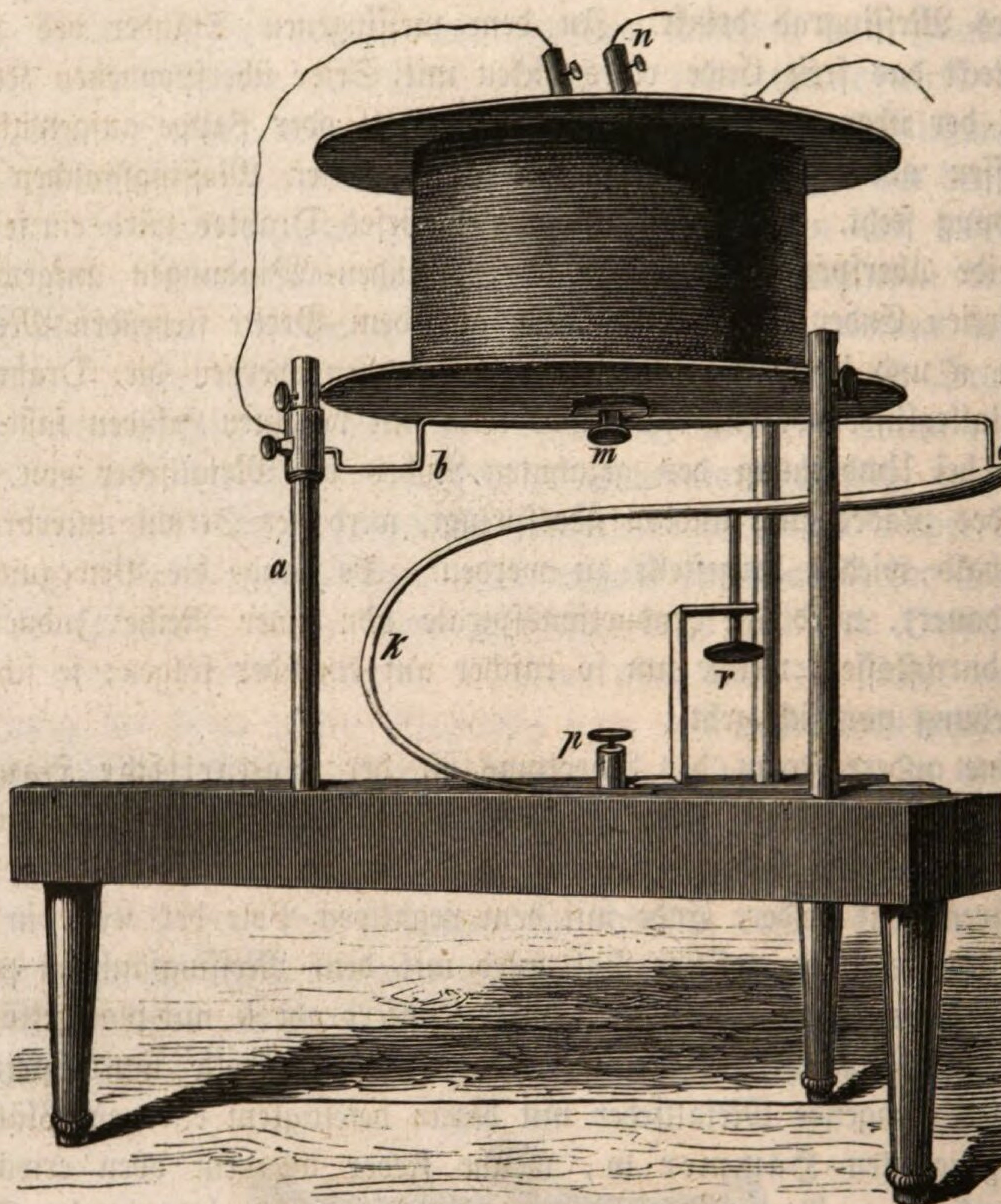



zwei Messingsäulchen, von denen das eine p mit dem positiven Pol und das andere n mit dem negativen Pole des Elektromotors verbunden ist.

An dem einen Säulchen ist eine Messingfeder befestigt, welche gegen ein gezahntes Messingrad drückt. In dem messingenen Ständer des Zahnrades steckt das freie Ende eines dicken mit Seide übersponnenen Kupferdrahtes, der über einen Hohlcylinder von Holz oder Pappe aufgewickelt ist und dessen anderes freies Ende mit dem zweiten Messingsäulchen n in Verbindung steht. Ueber den Windungen dieses Drahtes wird ein feinerer mit Seide übersponnener Draht in zahlreichen Windungen aufgewickelt, dessen freien Enden nach zwei andern auf dem Brette stehenden Messingsäulchen a und b gehen. Mit diesen Säulchen werden die Drahtenden der Metallcylinder verbunden, welche man mit benetzten Händen faßt. So oft nun bei Umdrehung des gezahnten Rades die Metallfeder von einem Zahne des Rades zum andern überspringt, wird der Strom unterbrochen, um alsbald wieder hergestellt zu werden. So lange die Bewegung des Rades dauert, wird die Inductionsspirale von einer Reihe Inductionsströme durchflossen, welche um so rascher auf einander folgen, je schneller die Drehung vor sich geht.

Eine andere Form des Rheotoms ist der magnetische Hammer in Figur 77 dargestellt. Die Inductionsrolle ruht auf drei messingenen Pfeilern, an deren einem a das eine Ende der Inductionsspirale befestigt ist, während das andere Ende mit dem negativen Pole der Kette in Verbindung steht. Der positive Pol wird mit dem Messingsäulchen p verbunden, an welchem ein gebogener dicker Kupferdraht k mit plattgeklopftem Ende c angelöthet ist. Dicht unter der Inductionsrolle läuft horizontal her eine schwingende Metallfeder mit daran befestigtem eisernen Plättchen, dem sogenannten Hammer m, welche Feder an dem oben erwähnten Messingpfeiler a ihren Befestigungspunkt hat. Der inducirende Strom geht also von p nach k, c, b, a durch die Inductionsspirale. — In der Höhlung der Inductionsrolle steckt eine Anzahl gefirnißter Eisendrähte, deren untere Enden ganz nahe über dem Hammer m sich befinden. Sobald der Strom die Inductorspirale durchläuft, wird das Bündel Eisendrähte magnetisch, so daß es den Hammer anzieht, wodurch der Strom bei c zur Unterbrechung kommt. Mit dieser Unterbrechung verliert das Bündel Eisendrähte seinen Magnetismus, der vorher gehobene eiserne Anker fällt zurück, womit die Wiederherstellung des Stromes erfolgt. Alsbald wird der Hammer wieder gehoben, was abermals eine Unterbrechung des Stromes nach sich zieht, der sofort wieder hergestellt wird. Die Unterbrechungen des Stromes gehen hier mit solcher Schnelligkeit von statten, daß man die einzelnen Schwingungen der Metallfeder nicht wahrnehmen kann, dafür aber ein continuirliches Summen hört, während man an der Unterbrechungsstelle bei c fortwährende kleine Lichtpünktchen sieht. — Um das Spiel der Unterbrechungen nach Belieben schneller oder

Fig. 77.



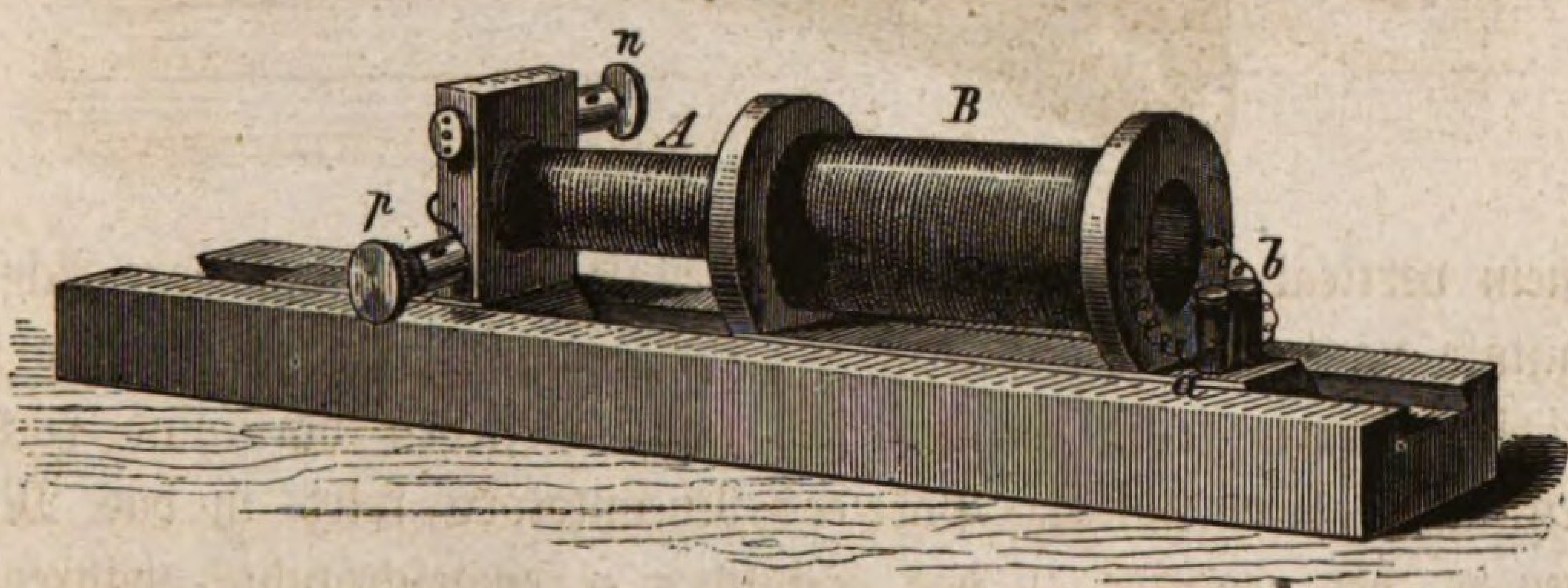

langsamer zu machen, ist eine Stellschraube r angebracht, durch deren Drehung man den Abstand des Ankers vom Eisenkern reguliren kann. Das eiserne Plättchen darf nicht in unmittelbare Berührung mit dem Eisenkern kommen, weil sonst nach Unterbrechung des Stromes der in den Eisendrähten zurückbleibende Magnetismus zu stark werden würde, um den gehobenen Anker wieder fallen zu lassen. — An den Enden der Inductionsspirale sind zwei Drähte mit den metallenen Cylindern befestigt, die man in die angefeuchteten Hände nimmt oder die man mit Wasser füllt und die Finger darin taucht. Die Inductionsschläge des Apparates sind so kräftig, daß sie sich durch eine Reihe von Personen fortpflanzen, die sich mit benetzten Händen anfassen.

Es ist nicht gerade nöthig, daß die beiden Drähte auf eine und dieselbe Rolle aufgewickelt sind, sie können auch auf verschiedene Rollen von ungleichem Durchmesser gewunden sein, so daß die eine Rolle in die andere

hineingeschoben werden kann. Die Enden der Drähte stehen mit metallenen Klemmschrauben in Verbindung, die auf dem oberen Rande jeder Rolle befestigt sind. Diese Klemmschrauben dienen dazu, die Inductorspirale in den Schließungskreis des Elektromotors einzuschalten oder die Inductionsspirale mit den Enden eines Galvanometers oder mit den Metallcylindern in Verbindung zu setzen, welche als Handhaben gebraucht werden. — Wenn die Inductorspirale innerhalb der Inductionsspirale steht, erhält man wieder bei Schließung der Kette einen Inductionsstrom, dessen Richtung der des Hauptstroms entgegengesetzt ist, bei Oeffnung der Kette abermals einen Inductionsstrom, dessen Richtung mit jener des Hauptstromes übereinstimmt. — Setzt man beide Rollen übereinander dergestalt, daß ihre Achsen zusammenfallen und schließt den Kreis der Inductorspirale, so entsteht sowohl beim raschen Einschieben der einen Rolle in die Höhlung der andern als beim raschen Herausziehen der eingeschobenen Rolle ein Inductionsstrom. — Aus der Ablenkung der eingeschalteten Galvanometernadel geht hervor, daß bei schneller Annäherung ein dem Hauptstrom entgegengesetzt gerichteter und bei plötzlicher Entfernung ein mit demselben gleich gerichteter Inductionsstrom hervorgerufen wird. Dagegen erfolgt keine Induction, wenn keine Bewegung stattfindet.

Um die Verschiebung der einen oder der andern Spirale mit Leichtigkeit bewerkstelligen zu können, werden beide Rollen jede für sich, wie es in Figur 78 angegeben ist, auf einem besondern kleinen Brette befestigt,

Fig. 78.

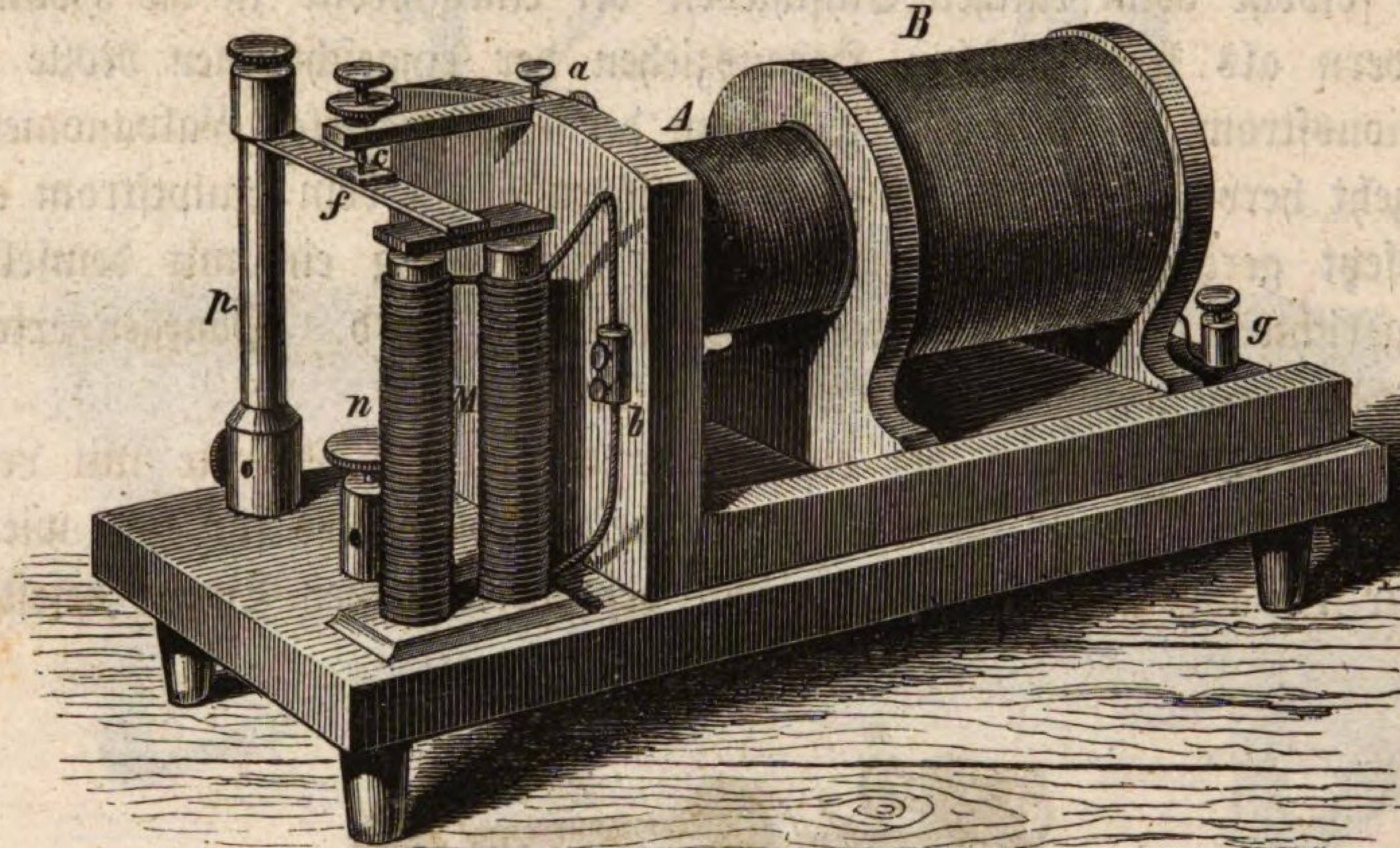



das auf einem größeren Brette nach Belieben hin und her geschoben werden kann. Die Polardrähte des Elektromotors werden in die Messingcylinderchen p und n eingeschraubt, deren eines mit dem einen Drahtende der Inductorspirale A und deren anderes mit dem zweiten Drahtende der letzteren in Verbindung steht. Die Drahtenden der Nebenspirale B sind wohl verwahrt bis zu den Messingsäulchen a und b fortgeführt und daselbst festgelöthet. In diese Säulchen werden die Drahtenden der Galvanometernadel oder die metallenen Handhaben eingeschraubt. Die eben besprochene unter dem Namen S c h l i t t e n a p p a r a t bekannte Vorrichtung gestattet zugleich die Stärke des Inductionsstromes nach Belieben zu reguliren. Die

Hauptspirale übt nämlich ihre volle Wirkung auf die Nebenspirale aus, wenn erstere ihrer ganzen Länge nach von letzterer umgeben ist. Je geringer dagegen der Theil der Hauptspirale ist, welcher von der Nebenspirale umschlossen wird, um so weniger kann die Hauptspirale inducirend auf die Nebenspirale einwirken. Der secundäre Strom wird darum um so mehr geschwächt werden und endlich vollständig verschwinden, wenn die Inductorspirale ganz aus der Inductionsspirale herausgezogen ist.

Ein derartiger Schlittenapparat kann auch in Verbindung mit selbstthätiger Unterbrechungsvorrichtung mittelst des magnetischen Hammers zu einem besondern Inductionsapparat zusammengesetzt werden. Ein solcher Apparat hat in Figur 79 seine Darstellung. Die Inductorspirale **A** ist

Fig. 79.




an einem vertical stehenden Brette dergestalt befestigt, daß ihre Achse eine horizontale Lage hat; die gleichfalls horizontale Inductionsspirale **B** sitzt auf einem Brette fest, welches sich nach Belieben vor- und rückwärts schieben läßt. Der positive Pol des Rheomotors wird in das Messingsäulchen p, der negative in das Säulchen **n** eingeschraubt, während das eine Drahtende der Inductorspirale in die in das vertical stehende Brett eingelassene Messingplatte **a** eingeklemmt ist und das andere Drahtende in dem Messingsäulchen b befestigt wird. Der Strom geht von p durch die Platinspitze c auf ein Platinplättchen, welches auf der Messingfeder f aufgelöthet ist, dann von der Messingplatte **a** durch die Inductorspirale. Aus der letzteren gelangt der Strom durch das Säulchen in die Windungen des Elektromagnets und aus diesen nach dem Säulchen **n**. Sobald der Strom die Windungen des Elektromagnets **M** durchläuft, wird der auf dem Ende der Messingfeder befestigte Anker angezogen, damit die Berührung zwischen Platinplättchen und Platinspitze aufgehoben, was dann eine

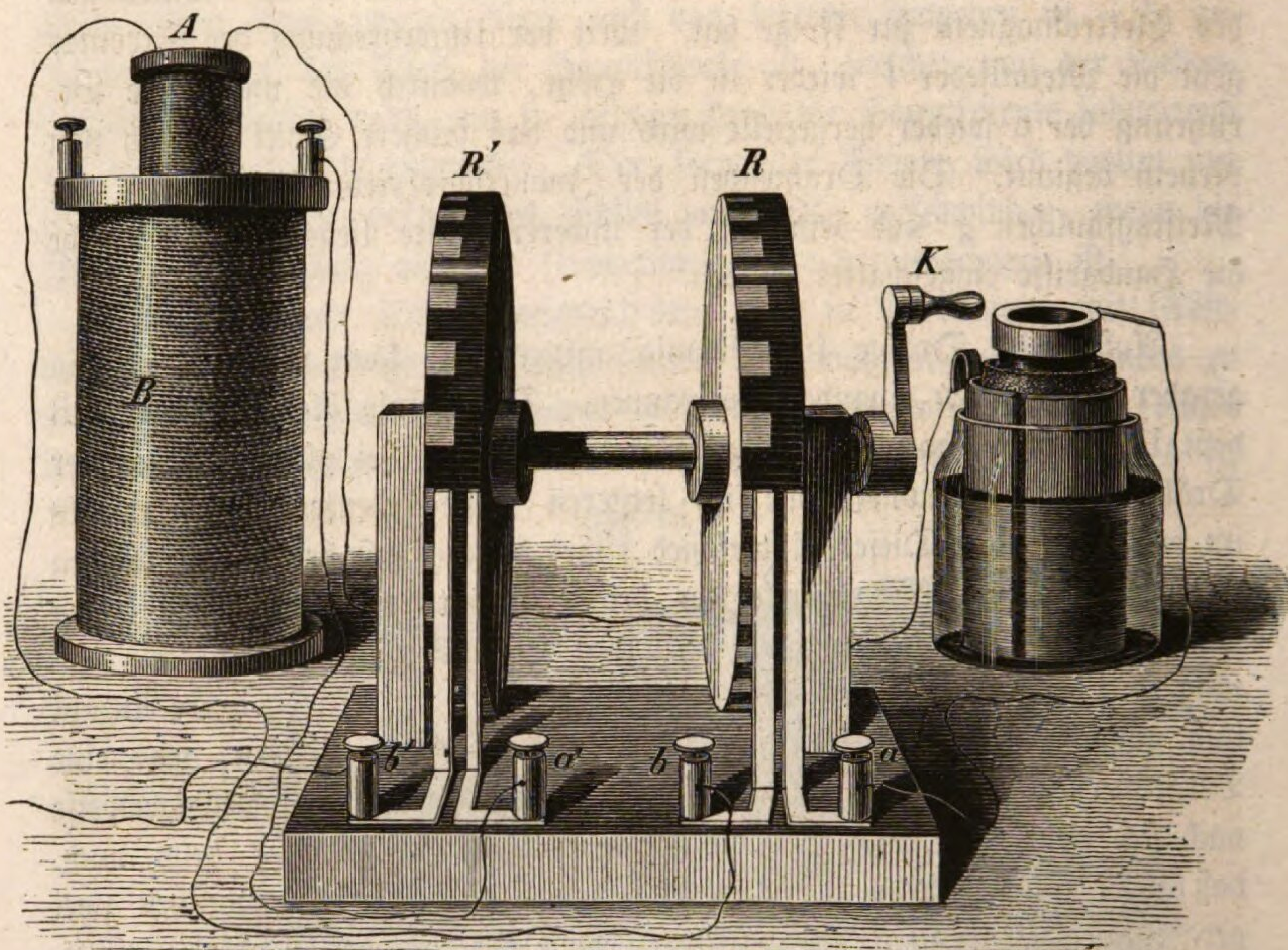
Unterbrechung des Stromes in der Hauptspirale und in den Windungen des Elektromagnets zur Folge hat. Mit der Unterbrechung des Stromes geht die Metallfeder f wieder in die Höhe, wodurch die metallische Berührung bei c wieder hergestellt wird und das frühere Spiel sogleich von Neuem beginnt. Die Drahtenden der Inductionsspirale gehen nach den Messingsäulchen g und dem auf der anderen Seite liegenden, in welche die Handgriffe eingeschaltet werden.

Anstatt die Drähte spiralförmig aufzurollen, kann man sie auch in gerader Linie neben einander ausspannen. Der Erfolg bleibt derselbe mit dem Unterschiede, daß bei gleicher Stromstärke und bei gleicher Länge der Drähte die Inductionsströme im letzteren Falle bedeutend geringer als im ersteren sind. Dieser Unterschied rührt daher, daß bei spiralförmigen Leitungen die einzelnen Theile der beiden Drähte einander näher liegen als bei geradlinigen Leitungen. Bei den spiralförmigen Windungen vermag so jedes Element des inducirenden Stromes auf eine größere Anzahl ihm zunächst liegender Elemente seine Wirksamkeit zu äußern, was eine Vergrößerung der Totalwirkung des Inductionsstroms nothwendigerweise nach sich zieht. — Aus dem nämlichen Grunde geschieht es denn auch, daß unter sonst gleichen Umständen die inducirende Wirkung zwischen zwei geradlinigen Leitern in der parallelen Lage zu einander größer ausfällt, als in einer geneigten und daß jene Wirkung ihr Minimum erreicht, wenn die Leiter senkrecht auf einander stehen.

Wenn bei unveränderter Lage der Leitungsdrähte die Intensität des galvanischen Stromes allmählig zu- oder abnimmt, so erkennt man an den Bewegungen der Galvanometernadel, daß jede Verstärkung des Stromes einen Inductionsstrom von entgegengesetzter Richtung und jede Schwächung einen Strom von gleicher Richtung in dem benachbarten in sich geschlossenen Leiter hervorruft; dagegen zeigt sich keine Induction, so lange die Intensität des galvanischen Stromes constant bleibt.

Der in Figur 80 abgebildete Apparat dient dazu, den beim Schließen oder Oeffnen der Kette besonders inducirten Strom jeden für sich zu sammeln. Dieser Apparat besteht aus zwei runden Scheiben R, R′ von Elfenbein oder Holz, die auf derselben Achse sitzen, um welche sie mittelst der Kurbel K gleichzeitig gedreht werden können. Auf dem Umfange jeder dieser Scheiben ist ein kupferner Ring gelegt, welcher mit gleich großen zahnförmigen Ausschnitten versehen ist, so daß die Zähne mit den sie trennenden Zwischenräumen von gleicher Ausdehnung sind. Eine Metallfeder a streift auf der ungezahnten, eine zweite b auf der gezahnten Hälfte der Scheibe R: dasselbe ist mit den Federn a′ und b′ bezüglich der Scheibe R′ der Fall. — Die Inductorspirale A steht einerseits mit dem negativen

Fig. 80.




Pol des Elektromotors und anderseits mit der Feder b der Scheibe R in Verbindung, während der positive Pol des Elektromotors durch einen Leitungsdraht mit der Feder a verbunden ist. In den Schließungskreis der Inductionsspirale B sind die Federn a', b' der Scheibe R' nebst einem Galvanometer eingeschaltet. — Sind jetzt die Scheiben dergestalt gestellt, daß die Zähne von R denen von R' genau gegenüberstehen; so werden bei der Rotation der Scheiben beide Leitungen gleichzeitig geschlossen und unterbrochen: es wird also in solchem Falle blos der bei der Schließung der Kette entstehende Inductionsstrom durch den Galvanometerdraht gehen. — Werden dagegen die Scheiben so gestellt, daß die Zähne beider wechseln, so wird der Kreis der Inductionsspirale geschlossen, wenn jener der Inductorspirale unterbrochen ist: daher wird jetzt blos der bei Oeffnung der Kette hervorgerufene Inductionsstrom auf das Galvanometer einwirken.

Mit Hülfe dieses Apparates läßt sich zeigen, daß die Inductionsströme die nämlichen Wirkungen hervorbringen, wie die galvanischen Ströme. Schaltet man nämlich einmal in den Kreis der Inductionsspirale das Galvanometer ein, so wird bei der Drehung der Scheibe die Magnetnadel in dem einen oder dem andern Sinn abgelenkt bleiben, je nachdem der eine oder der andere Inductionsstrom durch den Schließungsbogen der Nebenspirale fließt. — Schaltet man weiter in den Kreis der Inductions-

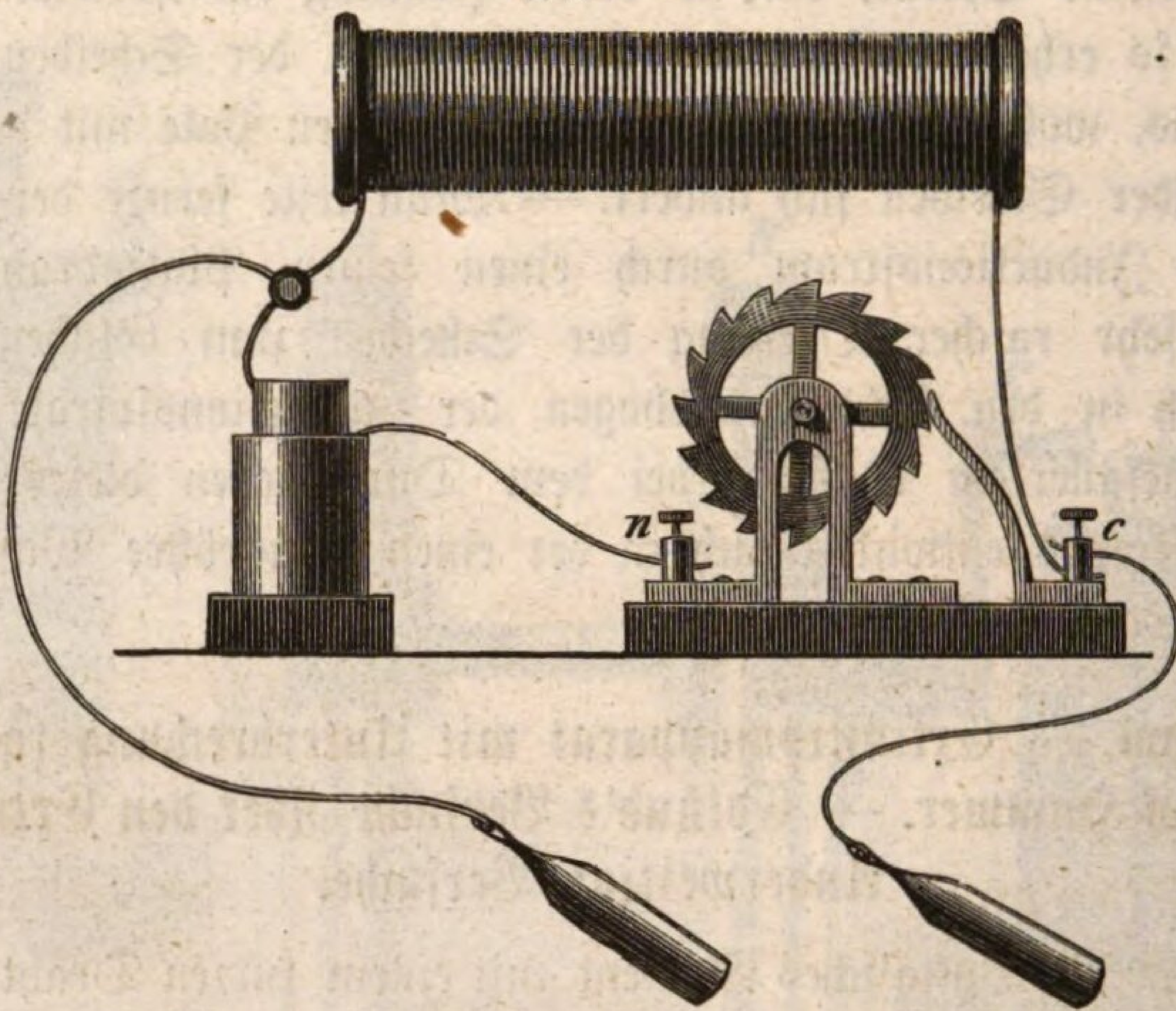
spirale eine kleine Spirale ein, in deren Höhlung ein isolirtes Stahlstäbchen liegt; so erhält dasselbe bei der Drehung der Scheiben bleibenden Magnetismus, wobei die Lage der hervorgerufenen Pole mit der relativen Stellung beider Scheiben sich ändert. — Man leite ferner den einen oder den andern Inductionsstrom durch einen feinen Platindraht; derselbe kommt bei sehr rascher Drehung der Scheiben zum Glühen. — Man bringe endlich in den Schließungsbogen der Inductionsspirale ein Voltameter mit gesäuertem Wasser; bei dem Durchfließen dieses oder jenes Inductionsstromes entwickelt sich in der einen Glasröhre Wasserstoff, in der andern Sauerstoff.

## 2. Extrastrom. — Extrastromapparat mit Unterbrechungsrad und mit magnetischem Hammer. — Edlund's Versuche über den Extrastrom. — Anderweitige Versuche.

Hat man ein Volta'sches Element mit einem kurzen Draht geschlossen, so erhält man bei Unterbrechung des Stromes nur einen sehr schwachen Funken und falls der menschliche Körper in den Schließungskreis eingeschaltet worden, keine Spur von einem elektrischen Schlage. — Schaltet man dagegen in die Leitung eine Inductionsspirale ein, so bekommt man beim Oeffnen der Kette einen hellleuchtenden schallenden Funken und einen kräftigen Schlag, wenn der menschliche Körper einen Theil des Schließungskreises ausmacht. — Da nun die Stromstärke abnimmt in dem Maße die Länge der Leitung wächst, mithin der Funke wie der Erschütterungsschlag an Intensität verlieren müßte; so muß dabei ein neuer Umstand ins Spiel treten. — Faraday sagt, der hier stärker erscheinende Funke sammt Erschütterungsschlag rühre von einem sogenannten Extrastrom her, welcher in einem spiralförmigen Schließungsdrahte durch die inducirende Wirkung jeder einzelnen Windung auf die zunächst liegenden beim Oeffnen der Kette zu Tage trete. Der Extrastrom wäre hiernach nur ein specieller Fall des Nebenstromes, indem nämlich hier ein und derselbe Draht den Weg für den inducirenden Strom und den inducirten abgibt. Die für den Nebenstrom gefundenen Erscheinungen werden demnach auch in Beziehung auf den Extrastrom als wahrscheinlich angenommen werden können. — Der bei dem Oeffnen der Kette entstehende Extrastrom wird mithin die nämliche Richtung wie der inducirende Strom haben, er muß deßhalb die Wirkung des letzteren verstärken. Dagegen wird der beim Schließen der Kette hervorgerufene Extrastrom den Hauptstrom schwächen, weil er dem letzteren entgegengesetzt ist.

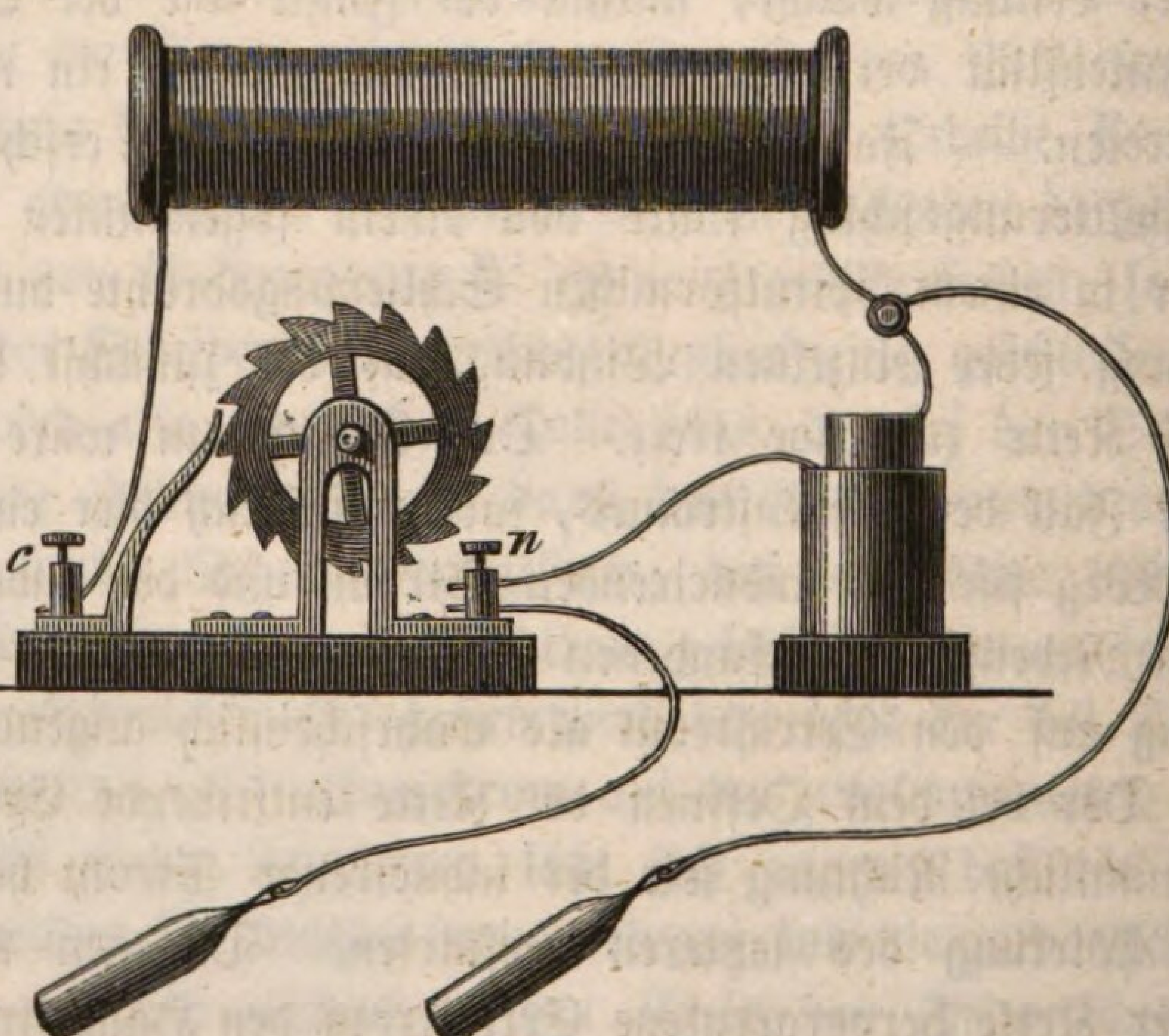
Um den von dem Extrastrom herrührenden Schlag zu erhalten, kann man sich des in der Figur 81 abgebildeten Apparates bedienen. Das eine Ende der Drahtspirale steht mit dem positiven Pol des Elektro-

Fig. 81.




motors in Verbindung, dessen negativer Pol mit dem Säulchen n des Unterbrechungsrades verbunden ist. Das zweite Ende der Drahtspirale wird in das Säulchen c eingeschraubt. Sind nun die Handgriffe wie in Figur 81 angebracht, so geht nach der Unterbrechung des Hauptstromes der in der Spirale entstehende Extrastrom durch den menschlichen Körper, wenn derselbe im Schließungskreis sich befindet. — Dagegen erhält man

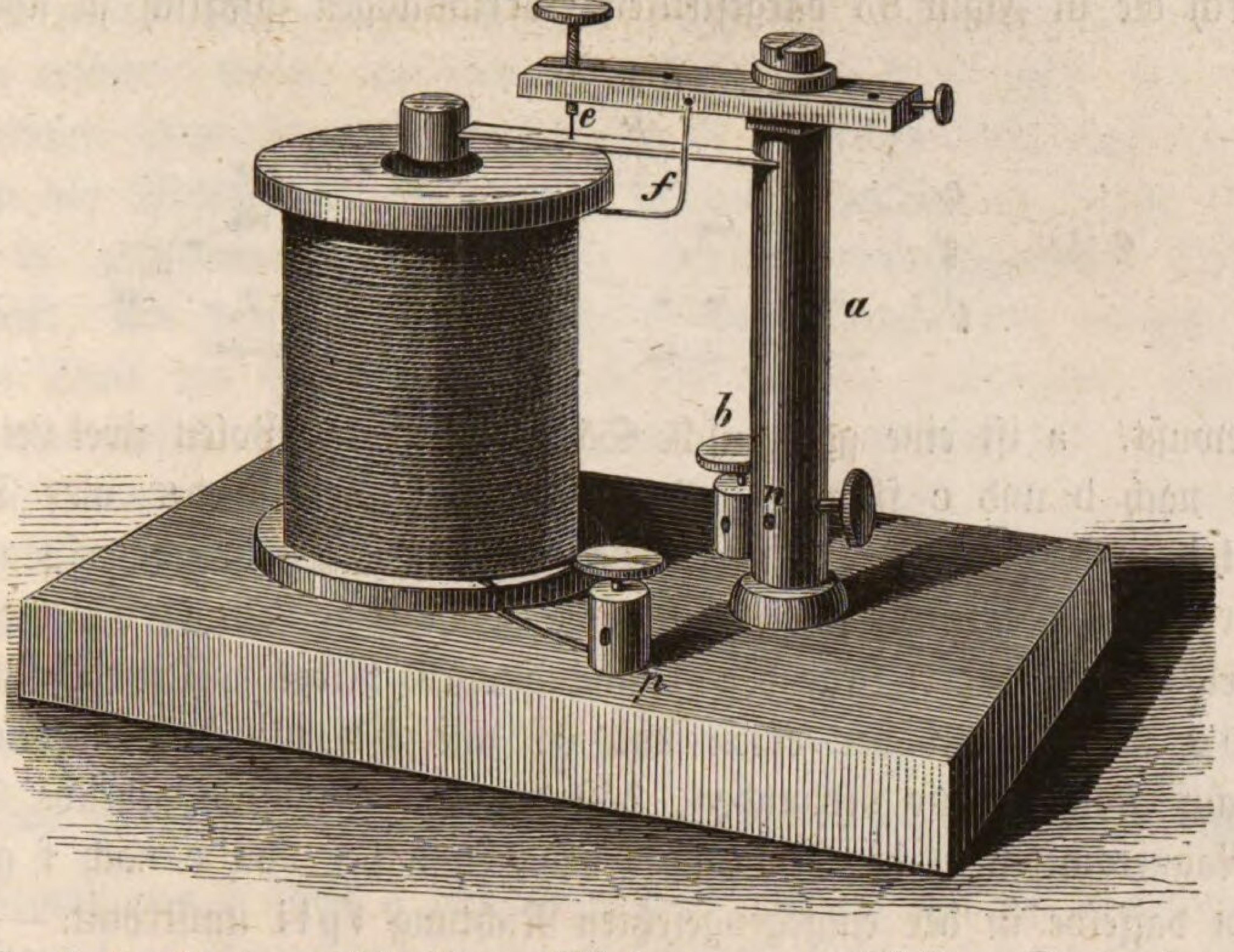
Fig. 81 a.




bei der in Figur 81 a. angegebenen Anordnung keinen Schlag, weil die den Extrastrom erzeugende Spirale hier ausgeschaltet ist.

Einen Extrastromapparat mit magnetischem Hammer stellt Figur 82 dar. Um eine Hülse von Holz ist eine Spirale von dünnem übersponne-

Fig. 82.

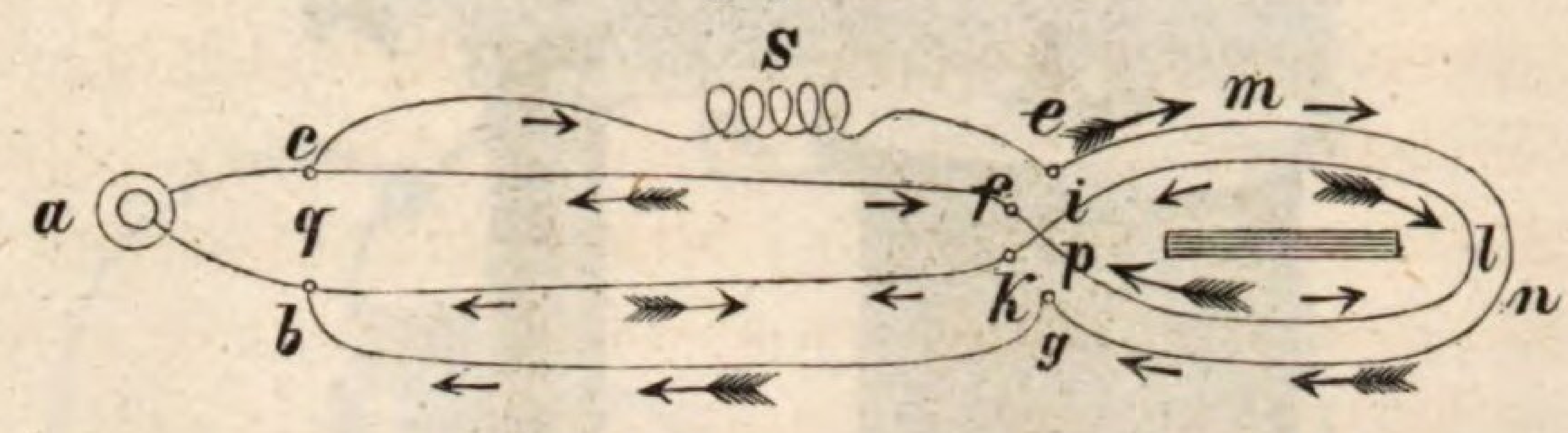



nem Kupferdraht in zahlreichen Windungen gewickelt. Das eine Ende des Drahts führt zu dem Messingsäulchen p, das andere zu der auf dem Messingständer a festsitzenden Messingplatte, von welchem sie durch isolirendes Elfenbein geschieden ist. In dem Messingständer ist ein federnder Kupferstreifen f befestigt, dessen anderes Ende ein eisernes Knöpfchen trägt, welches über dem im Inneren der Holzhülse befindlichen Bündel von Eisendrähten schwebt. Die Kupferfeder drückt leise gegen eine von oben herabkommende Platinspitze e, das Ende einer Schraube, welche an der oben erwähnten Messingplatte angebracht ist. Der positive Pol des Elektromotors wird mit dem Messingsäulchen p, der negative bei n mit dem Messingständer verbunden. Der bei p eintretende Strom durchläuft die Spirale, gelangt von derselben zur Platte, von welcher er durch die Kupferfeder und den Ständer nach dem negativen Pole des Elektromotors geht. Der Strom macht das Eisendrahtbündel magnetisch, worauf das eiserne Knöpfchen niedergezogen und dann das oben beschriebene Spiel der Unterbrechung und Wiederherstellung des Stroms hervorgebracht wird. Bei jeder Unterbrechung des Hauptstromes entsteht der Extrastrom, welcher in dem menschlichen Körper eine Erschütterung veranlaßt, wenn derselbe sich in der Nebenschließung befindet, deren Drahtenden in dem Säulchen b und der Messingplatte befestigt sind. Der Erschütterungsschlag bleibt aus, wenn die Spirale ausgeschaltet ist, d. h. die eine Handhabe bei p, die andere bei q eingesetzt wird.

Wir wollen jetzt jenen Extraströmen auf dem von E. Edlund zu Upsala eingeschlagenen experimentellen Wege weiter nachgehen. Die

Schwierigkeiten, welche sich bei dergleichen Untersuchungen darbieten, hat er durch die in Figur 83 dargestellten Vorrichtungen glücklich zu überwin-

Fig. 83.




den gewußt. a ist eine galvanische Säule, von deren Polen zwei Leitungsdrähte nach b und c führen. Von b und c gehen wieder vier Drähte bg, bh, ce und cf zu den Enden zweier Lagen von übersponnenem Kupferdrahte, von denen jede für sich eine geschlossene Leitung von mehreren parallel mit einander liegenden Umwindungen bildet. Die Drähte ce und bg werden mit der einen und cf und bh mit der anderen jener Lage auf solche Weise verbunden, daß der von c nach e gehende Strom ein Magnetometer in der Richtung emng und der von c nach f gehende Strom dasselbe in der entgegengesetzten Richtung fpli umströmt. — Zwischen c und f ist ein Rheostat eingeschaltet, wodurch der Leitungswiderstand so abgepaßt werden kann, daß die ganze Einwirkung der zwei um das Magnetometer in entgegengesetzter Richtung gehenden Hauptströme aufgehoben wird. In der Figur ist der Verlauf des durch die Säule A direct erzeugten Stromes durch die ungefiederten Pfeile dargestellt. — Bei q war eine einfache Vorrichtung angebracht, um die Kette bequem und gleichförmig öffnen und schließen zu können. Auch war in der Leitung cab ein Commutator eingeschaltet, welcher gestattete, dem Hauptstrom eine entgegengesetzte Richtung zu geben. Bei S war eine Inductionsrolle eingeschaltet, in welcher beim Oeffnen und Schließen der Kette bei q ein Extrastrom inducirt wurde. Um in dem Leitungsdrahte die Entstehung eines Inductionsstromes zu verhindern, welcher dem Extrastrom entgegenwirken könnte, wurde jener Draht über zwei Glasstangen gewunden, die 3 Meter von einander abstanden. Dadurch kamen Ströme von derselben und entgegengesetzten Richtung neben einander zu liegen, was die wechselseitige Induction zum Verschwinden brachte. Dasselbe war auch mit der Induction in den Umwindungen des Magnetometers der Fall, weil dieselbe in den beiden Lagen in entgegengesetzter Richtung stattfand. — Die Richtung des in der Spirale S gebildeten Extrastromes wird durch die gefiederten Pfeile angedeutet: er geht um das Magnetometer in der Richtung emng von g über b zurück nach h, darauf wieder um das Magnetometer in der Richtung ilp nach f und von hier endlich über c nach s. Der Extrastrom läuft also nicht wie der von der Säule herrührende Hauptstrom durch die beiden Drahtlagen in entgegengesetzter Richtung, sondern

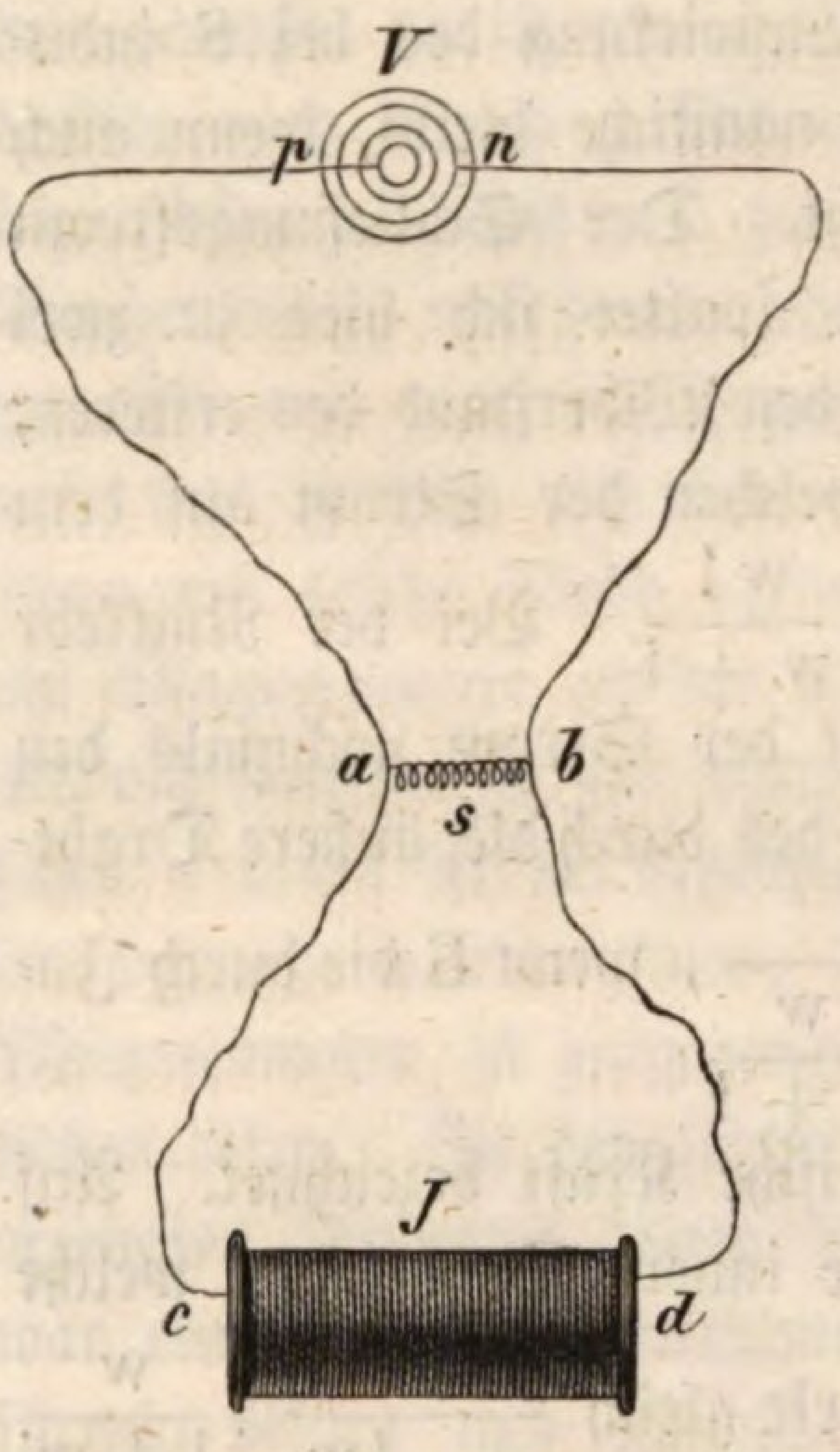
in derselben Richtung, wodurch seine Einwirkung auf das Magnetometer verstärkt wird. Die Folge davon ist, daß das Magnetometer eine Ablenkung erfährt, welche mit einem Fernrohre beobachtet wird, wie es bei magnetischen Beobachtungen gebräuchlich ist. — Beim Schließen der Kette wird in der Spirale ein Extrastrom inducirt, welcher die beiden Drahtlagen in gleicher, den gefiederten Pfeilen entgegengesetzter Richtung durchläuft, mit dem Unterschiede im Vergleich gegen den vorigen Fall, daß ein Theil des Extrastroms durch die Leitung cab geht. Aus dem Ohm'schen Gesetze ergibt sich jedoch, daß die Einwirkung des bei S inducirten Stromes auf den Magnetometerstab die nämliche bleibt, wenn auch ein Theil desselben durch die Leitung cab geht. Der Schließungsstrom der Spirale gelangt nämlich von S nach c, spaltet sich hier in zwei Aeste cfplhb und cab. Nennt man nun l den Widerstand des ersteren, w den des letzteren, so ist der Widerstand, welchen der Strom auf dem Wege von c bis b zu überwinden hat, gleich $\frac{wl}{w+l}$. Bei der Rückkehr des Stroms von b über n und m nach S hat der Strom nochmals den Widerstand l zu überwinden; daher die Stärke des durch die äußere Drahtlage gnme fließenden Stromes gleich $\frac{E}{l+\frac{lw}{w+l}}$, wenn E die durch Induction der Spirale S entstehende elektromotorische Kraft bezeichnet. Auf den Magnetometerstab wirkt aber auch noch die innere Drahtlage, welche von einem Strome durchflossen wird, dessen Stärke gleich $\frac{E}{l+\frac{lw}{l+w}} \cdot \frac{w}{l+w}$. Die Gesammtwirkung auf den Magnetometerstab kann hiernach proportional $\frac{E}{l+\frac{lw}{l+w}}\left(1+\frac{w}{l+w}\right)=\frac{E}{l}$ gesetzt werden; ist also von der Größe des Leitungswiderstandes cab unabhängig.

Die Resultate, welche Edlund bei Anstellung dieser Versuche gefunden, sind in folgenden Sätzen ausgesprochen. Die beim Oeffnen und Schließen einer galvanischen Kette entstehenden Extraströme sind gleich groß, wenn die inducirende Stromstärke in beiden Fällen die nämliche ist. — Die beim Oeffnen und Schließen einer galvanischen Kette hervorgerufenen Extraströme sind der inducirenden Stromstärke proportional. — Die durch eine bloße Variation der inducirenden Stromstärke hervorgebrachten Extraströme sind denjenigen vollkommen gleich, welche beim Oeffnen und Schließen der Kette entstehen. — Endlich zeigte sich, daß die Extraströme gleich groß ausfielen, wie auch die Kette geöffnet und geschlossen wurde, sobald die dafür nöthige Zeit so kurz war, daß die Einwirkung des Extrastromes

auf den Magnetometerstab als momentan betrachtet werden konnte. Diese Thatsachen bestätigen also die oben ausgesprochene Vermuthung, daß die in Nebenschließungen hervorgerufenen Inductionsströme dem Wesen nach mit den in der Hauptschließung erregten Extraströmen völlig übereinstimmend sind.

Um dem Oeffnungsextrastrom auf einem anderen experimentellem Wege nachzugehen, kann man sich der in Figur 84 dargestellten Einrichtung bedienen. V ist eine galvanische Kette, von deren Polen zwei Leitungsdrähte p a und n b nach den Drahtenden c und d einer Inductionsspirale J führen. Zwischen den Punkten a und b ist eine aus sehr dünnem Platindraht bestehende Spirale s angebracht, wonach der Hauptstrom sich bei a spaltet und ein Zweigstrom a s b n entsteht. Die Intensität dieses Zweigstromes ist so gering, daß eine in die Spirale s gelegte Stahlnadel nicht merklich magnetisirt wird: wovon man sich überzeugt, wenn man die Nadel nach Schließung der Kette in die Spirale bringt und vor Oeffnung wieder entfernt. Nun schließe man die Kette, lege die Nadel in die Spirale und unterbreche alsdann die Leitung bei p: die Nadel wird magnetisirt und die Lage der Pole entspricht einem in der Richtung von b nach a geflossenen Strome, der im Moment der Unterbrechung entstanden ist und sich durch die Spirale s mithin in dem nämlichen Sinne wie der inducirende Strom bewegt. Unterbricht man die Leitung zwischen a und c, so geht der Strom des Elektromotors ganz durch die Spirale: die Magnetisirung der Nadel wird dann durch diesen Strom veranlaßt, nicht aber durch einen Extrastrom, welcher hier nicht auftreten kann.

Fig. 84.




Man löthe ferner statt der Spirale s zwei kurze dicke Kupferdrähte in a und b an, welche sich mit ihren freien Enden berühren; im Augenblicke der Unterbrechung der Leitung in p wird hier nur ein schwacher Funke sichtbar, indem der Extrastrom ganz durch die Leitung a b geht. Entfernt man aber die beiden Kupferdrähte in demselben Momente von einander, in welchem man den Strom bei p unterbricht; so springt zwischen den beiden Kupferdrähten ein glänzender Funke über, welcher von dem in der Spirale J erregten Extrastrom herrührt.

Man schalte weiter statt der Spirale s einen Galvanometer ein. Die Magnetnadel wird durch den von a nach b gerichteten Zweigstrom

abgelenkt, so lange der Strom geschlossen bleibt. Hierauf drehe man die Nadel ohne die Leitung zu unterbrechen auf den Nullpunkt zurück und befestige sie in dieser Lage durch zwei kleine Stifte, damit sie der Einwirkung des Zweigstromes nicht mehr folgen kann, aber nach der entgegengesetzten Seite hin frei beweglich ist. Bei Unterbrechung der Leitung in p erfolgt ein lebhafter Ausschlag der Nadel, welcher das Vorhandensein eines momentanen von b nach a gerichteten Stromes anzeigt.

Man bringe endlich zwischen a und b ein Voltameter und ein Unterbrechungsrad zwischen p und a. Bei geschlossener Kette fließt der Strom, wenn er ganz schwach ist, wegen des großen Leitungsvermögens des Metalls gänzlich durch die Spirale J. Bei geöffneter Kette geht der Extrastrom durch das Voltameter von b nach a, so daß nach einiger Zeit in den Glasröhren desselben Wasserstoff und Sauerstoff sich getrennt vorfinden. Hat man hingegen das Unterbrechungsrad zwischen a und c eingeschaltet, so geht bei geschlossener Kette der Strom ungetheilt durch die Spirale, bei geöffneter Kette aber durch das Voltameter. Der Extrastrom kann übrigens im vorliegenden Falle nicht entstehen, weil im Moment der Unterbrechung die Inductionsspirale ausgeschaltet ist. Hat die Drehung längere Zeit stattgefunden, so sammelt sich wieder Wasserstoff und Sauerstoff getrennt, aber in den entgegengesetzten Glasröhren, zum Beweis, daß der Strom diesmal von a nach b gegangen.

Mittelst der eben beschriebenen Einrichtung läßt sich auch die inducirende Wirkung des Schließungsextrastromes nachweisen. Man schalte deßhalb statt der Spirale s ein Galvanometer ein, so daß dessen beide Drahtenden mit a und b in Verbindung stehen. Bei geschlossener Kette wird die Nadel durch einen von a nach b gehenden Zweigstrom abgelenkt, dessen Stärke wächst in dem Maße als der Widerstand des Theils a c d b der Leitung zunimmt. Man befestige die Nadel in ihrer Ablenkungslage durch zwei Stifte, daß sie nicht in den magnetischen Meridian zurückzukehren, jedoch nach der entgegengesetzten Seite hin sich frei zu bewegen vermag. Beim Oeffnen der Kette in p verharrt die Nadel in Ruhe, weil sie weder der Einwirkung des Erdmagnetismus, welche sie nach dem Nullpunkt zurückzuführen strebt, noch der inducirenden Wirkung des Oeffnungsextrastromes folgen kann, welcher von b nach a geht und sie nach der entgegengesetzten Seite hin abzulenken sucht, in der es der von a nach b fließende Zweigstrom thut. Beim Schließen der Kette entfernt sich die Nadel von den Stiften, zu denen sie aber sofort wieder zurückkehrt. Daraus folgt, daß der Zweigstrom im Moment des Schließens der Kette größer ist als während des Geschlossenseins derselben. Es muß also in der Spirale J ein Widerstand von kurzer Dauer sich entwickelt haben,

was auf das Vorhandensein einer momentanen elektromotorischen Kraft hinweist, welche der des Volta'schen Stroms entgegenwirkt.

Durch folgenden Versuch wird gleichfalls die Existenz des bei der Schließung der Kette auftretenden Extrastroms nachgewiesen, welcher dem ursprünglichen Strome der Säule entgegenwirkt. Man schalte in der mehrfach erwähnten Vorrichtung zwischen a und b ein Voltameter ein und nehme die Säule so stark, daß der von a nach b fließende Zweigstrom eine schwache Wasserzersetzung hervorbringt. Zugleich treffe man eine solche Anordnung, daß die Leitung zwischen p und a und zwischen d und b gleichzeitig unterbrochen werden kann. Bleibt die Kette eine Zeit lang geschlossen, so wird der Zweigstrom eine gewisse Menge Wasser zersetzt haben. Die Wasserzersetzung hört auf, wenn die Leitung an jenen beiden Stellen unterbrochen wird, weil weder der ursprüngliche Volta'sche Strom noch der Oeffnungsextrastrom durch das Voltameter fließen kann. Im Momente der Schließung tritt aber ein Extrastrom auf und Wasserstoff nebst Sauerstoff wird in Freiheit gesetzt. Durch dergleichen rasch aufeinander folgende Unterbrechungen und Schließungen läßt sich in einer bestimmten Zeit durch den unterbrochenen Zweigstrom eine größere Menge Wasser zersetzen als durch den andauernden, welcher bei anhaltendem Geschlossensein der Kette wie jener durch das Voltameter fließt. Dieser größere Effect rührt daher, daß bei jedesmaliger Schließung des Volta'schen Stroms in der Spirale ein demselben entgegenwirkender Extrastrom entsteht, welcher eine Erhöhung des Widerstandes des Theils der Leitung acJd zur nächsten und eine Verstärkung des Volta'schen Zweigstromes zwischen a und b zur weiteren Folge hat.

## 3. Inductionsströme höherer Ordnung. — Webers Theorie der Voltainduction.

Der Inductionsstrom vermag seinerseits in einem andern benachbarten Leiter wieder einen Strom zu induciren. Einen solchen Strom nennt man einen Inductionsstrom der zweiten Ordnung. Um diesen Strom nachzuweisen, lasse man den Strom einer Volta'schen Kette durch eine 27,5 Meter lange und 4 Centimeter breite Bandspirale a gehen, über welcher sich eine 18 Meter lange und 4 Centimeter breite Bandspirale b befindet, deren Enden mit einer dritten Bandspirale c verbunden sind, welche ebenfalls aus einem 18 Meter langen, aber nur 1,5 Centimeter breiten Kupferstreifen gebildet ist. Durch den Einfluß der Stromunterbrechung in der Spirale a wird in den Spiralen b und c ein Strom inducirt, welcher inducirend auf die über der Spirale c befindliche Drahtrolle d wirkt: und in der That erhält man bei Anfassung der an den Enden der Drahtrolle befestigten Handhaben kräftige Schläge, zum Beweise

des Daseins eines tertiären Stromes. — Durch ähnliche nur mehr erweiterte Anordnungen hat Henry Ströme vierter und fünfter Ordnung erhalten, und wahrscheinlich lassen sich mit einem kräftigen primären Strom Inductionsströme von noch höheren Ordnungen erlangen. — Bei Anwendung einer kleinen Batterie vermochte der Strom dritter Ordnung zwanzig sich anfassenden Personen einen Schlag zu geben; selbst bei einem Strome fünfter Ordnung waren die Schläge bis in die Arme fühlbar. — Bei einem Versuche waren die Schläge des Stromes dritter Ordnung noch deutlich in der Zunge fühlbar, wenn die Drahtrolle sich 46 Centimeter über dem den secundären Strom leitenden Gewinde befand.

Die Erscheinungen der Voltainduction lassen sich aus dem von Weber aufgestellten allgemeinen Grundprincip der Elektrodynamik herleiten, wie nunmehr nachgewiesen werden soll. Zum Zwecke dieser Ableitung bezeichne s das mit der Elektricität $\varepsilon$ behaftete inducirende Stromelement, welches von dem zu demselben parallel laufenden stromlosen Element s' mit der zu ihrer gemeinsamen Richtung senkrecht stehenden Geschwindigkeit c sich entfernt. Wir haben demnach vier folgende elektrische Massen zu unterscheiden, nämlich $+ s\varepsilon$, $- s\varepsilon$, $+ s'\varepsilon'$, $- s'\varepsilon'$, deren gegenseitige Wirkungen nach der allgemeinen elektrischen Grundformel

$$f = -\frac{s s' \varepsilon \varepsilon'}{r^2}\left[1 - a^2\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + 2a^2 r\frac{d^2r}{dt^2}\right]$$

zu bestimmen sind, in welcher r die Verbindungslinie ss' und a eine Constante ausdrückt. Es kommt mithin nur darauf an, die relativen Geschwindigkeiten $\frac{dr}{dt}$ und die relativen Beschleunigungen $\frac{d^2r}{dt^2}$ zu ermitteln, welche einerseits von den Bewegungen der elektrischen Massen in ihren Leitern und anderseits von den ihnen mit ihren Leitern gemeinschaftlichen Bewegungen abhängen. — Die Masse $+ s\varepsilon$ bewegt sich mit der Geschwindigkeit $+ u$ in der Richtung des ruhenden Elements, welche mit der von s nach s' gezogenen Geraden r den Winkel $\varphi$ macht, und zugleich in einer darauf senkrecht stehenden Richtung mit der Geschwindigkeit c. Daraus ergibt sich nach der Richtung der Geraden r die relative Geschwindigkeit $\frac{dr}{dt} = v = c \sin\varphi + u \cos\varphi$. — Die Masse $- s\varepsilon$ bewegt sich rückwärts in der nämlichen Richtung mit der Geschwindigkeit $- u$; woraus die relative Geschwindigkeit $\frac{dr}{dt} = v' = c \sin\varphi - u \cos\varphi$ entspringt. — Die zu r senkrechte Geschwindigkeit von $+ \varepsilon s$ ist $w = c \cos\varphi - u \sin\varphi$; mithin die relative Beschleunigung von $+ \varepsilon s$ gegen $- \varepsilon' s'$ oder $\frac{d^2r}{dt^2} = g = \frac{w^2}{r} = \frac{1}{r}(c\cos\varphi - u\sin\varphi)^2$. Die zu r senkrechte Geschwindigkeit von $- \varepsilon s$ gegen $+ \varepsilon' s'$ ist $w' = c\cos\varphi + u\sin\varphi$; folg-

lich die relative Beschleunigung $\frac{d^2 r}{d t^2} = g' = \frac{w'^2}{r} = \frac{1}{r}(c \cos\varphi + u \sin\varphi)^2$.
Hiernach erhält man vier folgende Wechselwirkungen:

$$\text{von } + \varepsilon s \text{ auf } + \varepsilon' s' \;.\;.\;.\;.\; = + \frac{s s' \varepsilon \varepsilon'}{r^2}(1 - a^2 v^2 + 2 a^2 r g);$$

$$\text{von } - \varepsilon s \text{ auf } + \varepsilon' s' \;.\;.\;.\;.\; = - \frac{s s' \varepsilon \varepsilon'}{r^2}(1 - a^2 v^2 + 2 a^2 r g');$$

$$\text{von } + \varepsilon s \text{ auf } - \varepsilon' s' \;.\;.\;.\;.\; = - \frac{s s' \varepsilon \varepsilon'}{r^2}(1 - a^2 v^2 + 2 a^2 r g);$$

$$\text{von } - \varepsilon s \text{ auf } - \varepsilon' s' \;.\;.\;.\;.\; = + \frac{s s' \varepsilon \varepsilon'}{r^2}(1 - a^2 v^2 + 2 a^2 r g').$$

Die Summe dieser vier Wechselwirkungen ist Null, es findet mithin zwischen dem Stromelement s und dem stromlosen s' keine elektrodynamische Wirkung statt.

Dagegen ist die Summe P der Wirkungen, welche auf das ruhende Element $+\varepsilon' s'$ ausgeübt werden, gleich

$$+ \frac{s s' \varepsilon \varepsilon'}{r^2}\{(v'^2 - v^2) a^2 - 2 a^2 r (g' - g)\};$$

und die Summe der auf $-\varepsilon' s'$ wirkenden Kräfte gleich

$$- \frac{s s' \varepsilon \varepsilon'}{r^2}\{(v'^2 - v^2) a^2 - 2 a^2 r (g' - g)\}.$$

Auf die positive und negative Elektricität in s' wirkt also eine Kraft

$$P - Q = \frac{2 s s' \varepsilon \varepsilon'}{r^2}\{(v'^2 - v^2) a^2 - 2 a^2 r (g' - g)\},$$

welche sie in der Richtung der Geraden r zu scheiden strebt. Substituirt man für v', v, g und g' die oben gefundenen Werthe, so bekommt man für die Inductionskraft den Ausdruck:

$$P - Q = \frac{8 s s' \varepsilon \varepsilon' a^2}{r^2} c u \cos\varphi \sin\varphi.$$

In der Richtung der Geraden r kann aber bei einem linearen Leiter die Scheidung nicht erfolgen, sondern nur in der Richtung des inducirten Elementes s' selbst, die mit der Geraden r den Winkel $\varphi$ bildet. Hiernach erhält man die Kraft, welche die wirkliche Scheidung zu Stande bringt, $= \frac{8 s s' \varepsilon \varepsilon' a^2}{r^2} c u \cos^2\varphi \sin\varphi$. Dieser Werth ist immer positiv, weil $\varphi < 180^0$ zu nehmen ist: der positive Werth bezeichnet einen inducirten Strom von gleicher Richtung mit dem inducirenden, wie es die Erfahrung lehrt. — Wird das Stromelement s dem Elemente s' genähert, so ist c negativ; folglich die elektromotorische Kraft

$$= - \frac{8 s s' \varepsilon \varepsilon' a^2}{r^2} c u \cos^2\varphi \sin\varphi:$$

der negative Werth bezeichnet einen inducirten Strom von entgegengesetzter Richtung mit dem inducirenden, was ebenfalls mit der Erfahrung übereinstimmt.

Entsteht ein Strom in dem Element s, so haben wir, wenn die relative Beschleunigung der positiven Elektricität in s gegen s' mit $+ g$ und die der negativen Elektricität mit $- g$ bezeichnet wird, folgende vier Wechselwirkungen:

$$\text{von } + s\,\varepsilon \text{ auf } + \varepsilon' s' \ldots\ldots - \frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}(1 + 2\,a^2\,r\,g);$$

$$\text{von } + s\,\varepsilon \text{ auf } - \varepsilon' s' \ldots\ldots + \frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}(1 + 2\,a^2\,r\,g);$$

$$\text{von } - s\,\varepsilon \text{ auf } - \varepsilon' s' \ldots\ldots - \frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}(1 - 2\,a^2\,r\,g);$$

$$\text{von } - s\,\varepsilon \text{ auf } + \varepsilon' s' \ldots\ldots + \frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}(1 - 2\,a^2\,r\,g).$$

Die Summe der Wirkungen auf $+ \varepsilon' s'$ beträgt $- \frac{4\,\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}\,a^2\,r\,g$ und die der wirkenden Kräfte auf $- \varepsilon' s'$ macht $+ \frac{4\,\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}\,a^2\,r\,g$. Daraus entspringt für die Kraft, welche die beiden Elektricitäten in s' in der Richtung von r zu scheiden sucht, der Ausdruck $- \frac{8\,\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}\,a^2\,r\,g$. Dieser Ausdruck muß mit $\cos\varphi$ multiplicirt werden, weil die Scheidung der beiden Elektricitäten nur in der Richtung des inducirten linearen Leiters vor sich gehen kann. Der negative Werth zeigt einen inducirten Strom von der entgegengesetzten Richtung mit dem inducirenden an. — Für wachsende Stromintensität ist dem Werth g ein positiver Werth beizulegen, wodurch obiger Ausdruck einen negativen Werth erhält: d. h. bei wachsender Stromintensität in s wird in s' ein Strom in entgegengesetzter Richtung erregt von jener des inducirenden. — Diese Resultate stehen mit der Erfahrung im vollkommensten Einklang.

## 4. Induction durch Reibungselektricität oder Elektroinduction. — Extrastrom und Inductionsströme höherer Ordnung durch elektrostatische Entladung.

Auch die Entladung einer Leidener Flasche vermag in einem benachbarten Leiter einen elektrischen Strom zu induciren, wie dies am besten mit den von P. Rieß construirten flachen Spiralen sich nachweisen läßt. Auf einer Holzscheibe von ohngefähr 30 bis 35 Centimetern im Durchmesser sind concentrische Ringe eingeschnitten, welche durch gekrümmte Einschnitte verbunden eine Spirale bilden. In diese spiralförmige Rinne wird ein Kupferdraht von einem Millimeter Durchmesser eingelassen und durch Pech isolirend befestigt. Die beiden Enden des Drahtes, von denen das eine durch die Mitte der Scheibe, das andere am Rande derselben hindurchgeht, endigen in zwei kleine Klemmschrauben, welche zur Aufnahme zweier Zuleitungsdrähte dienen. Die Spiralscheibe ruht auf Glasfüßen,

während eine zweite in ganz gleicher Weise construirte Spirale an einem Glasstabe gehalten von oben her ihr beliebig genähert werden kann. — Bringt man nun die Spiralen nahe aneinander und schließt die obere Spirale durch Anfassen von zwei metallenen Handhaben, so erhält man einen Schlag, wenn man die Drahtenden der unteren Spirale mit den beiden Belegungen einer Leidener Flasche verbindet. — Stehen die Drahtenden der oberen Spirale in geringem Abstande von einander, so bemerkt man zwischen denselben einen Funken, wenn der Entladungsstrom der Leidener Flasche durch die Windungen der unteren Spirale geht. — Die Stärke des inducirten Stromes wächst mit der Stärke des inducirenden und ist dem Abstand der beiden Spiralen umgekehrt proportional; auch ist der Inductionsstrom um so stärker, je paralleler die beiden Ströme laufen.

Um die magnetisirende Eigenschaft des elektrischen Nebenstromes nachzuweisen, ließ P. Rieß die elektrische Entladung durch eine Drahtschraube gehen, welche mit einer Glasröhre bedeckt war, um die ein Draht gleichfalls schraubenförmig gewunden war, dessen Enden mit einer dritten Magnetisirungsspirale verbunden wurden, die ohngefähr in $\frac{1}{2}$ Meter Entfernung von der Hauptspirale von Ost nach West aufgestellt worden. Bei jedem Versuche wurde die unmagnetische Stahlnadel in diese Spirale gelegt, welche bald aus Kupferdraht, bald aus Platindraht bestand. — In der Platinspirale fand in den meisten Fällen eine viel stärkere Magnetisirung statt, als in der Kupferspirale; auch war die Richtung des erzeugten Magnetismus in den meisten Fällen in der einen Spirale verschieden von jener in der andern. Bei gleichzeitiger Einschaltung der Platin- und Kupferspirale war die Magnetisirung dieselbe, mag die Nadel in der einen oder andern Spirale gelegen haben. — Einen bedeutenden Unterschied fand man in der Magnetisirung, je nachdem die Enden der Nebenspirale metallisch verbunden sind oder nur einander nahe stehen, in welchem Falle ein Funke überspringt. Mit diesem Funken erhält die Nadel gewöhnlich einen viel stärkeren Magnetismus als sonst, der aber in den meisten Fällen die nämliche Richtung hat wie ohne die Unterbrechung der Nebenschließung. — Die interessanteste Weise die Magnetisirung durch den Nebenstrom zu ändern, besteht in einer Veränderung der Leitung des Hauptstromes. Wir theilen hier die Resultate tabellarisch mit, welche P. Rieß bei seinen Versuchen erhalten hat. In der Hauptleitung waren die Arme eines Henley'schen Ausladers eingeschaltet, die durch verschiedene Längen eines 0,2 Millimeter dicken Neusilberdrahtes verbunden wurden; die Nebenleitung enthielt eine Magnetisirungsspirale aus Platin und eine ähnliche aus Kupferdraht, deren Enden mit einander verbunden waren. Wenn der Nebenstrom mit einem Funken überging, ist die Elektricitätsmenge mit einem f bezeichnet.

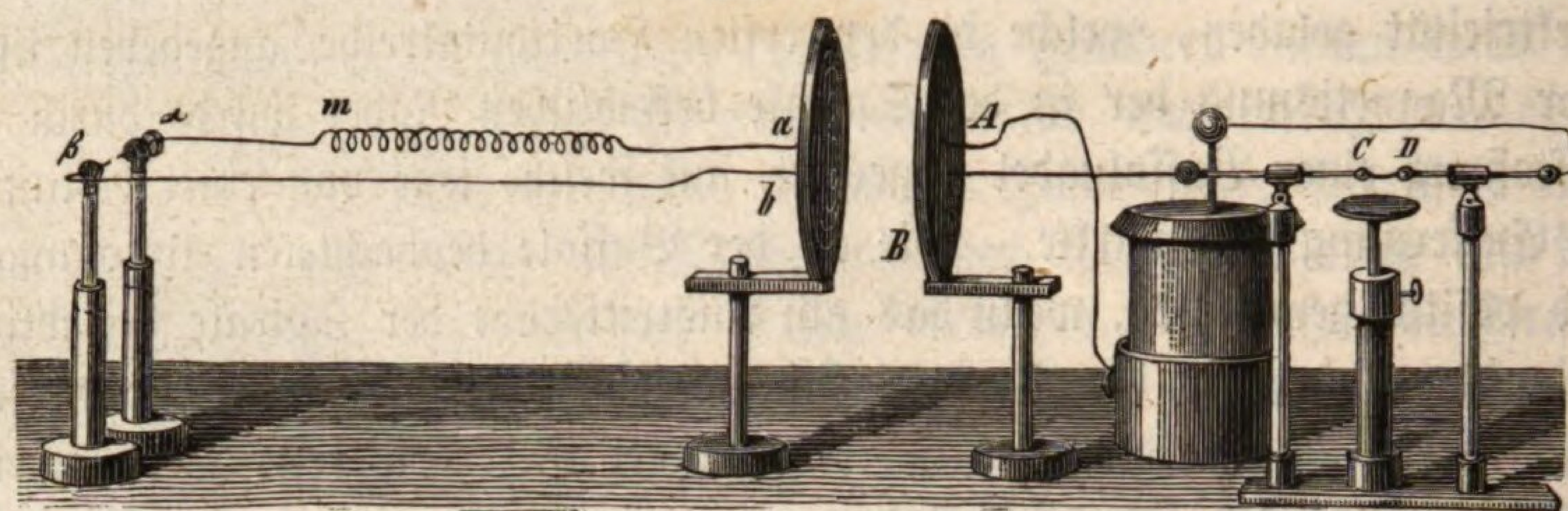
Die Batterie bestand aus 5 Flaschen und wurde mit Mengen positiver Elektricität geladen, welche in der ersten Horizontalreihe angegeben sind. Der Magnetismus der in der Spirale befindlichen Nadel wurde durch die Abstoßung einer Bussolnadel angezeigt, auf welche jene von einer bestimmten Entfernung aus wirkte. Die an der Bussole beobachteten Abstoßungen sind positiv genommen, wenn das am Austrittsende der Spirale befindliche Ende der Nadel als ein Nordpol sich zu erkennen gibt, während der entgegengesetzte Magnetismus mit — bezeichnet ist. Die erste Verticalreihe gibt die Länge der Hauptschließung an.

Magnetisirung durch den Nebenstrom.

| Elektricitätsmenge. | 10. | 20. | 30. | 40. |
|---|---|---|---|---|
| Neusilberdraht 5,89 Cent. lang | 2° | 4°,5 | 6°,5 | 8° |
| „ 8,06 „ „ | 2° | 5° | 6° | 9°,5 |
| „ 16,99 „ „ | 2°,5 | 5°,7 | 7°,7 | 12°,6 |
| „ 30,51 „ „ | 0° | 1°,8 | 1°,6 | 4°,5 |
| „ 46,19 „ „ | — 0,8 | 0° | 1°,3 | 7°,8 |
| „ 70,6 „ „ | — 2,3 | — 3 | 0° | 1°,5 |
| „ 100,24 „ „ | — 10 | — 10 | — 9,5 | — 7 |
| „ 151,67 „ „ | — 4 | — 2,3 | — 1,3 | — 8. |

P. Rieß hat die Richtung des Nebenstromes durch Zwischenbringung einer dünnen Harzplatte zwischen die freien Enden des Nebendrahtes auf eine unzweideutige Art zu bestimmen gewußt. Nach der Entladung der Batterie durch den Hauptdraht zeigen sich nämlich die beiden entgegengesetzten Flächen der Harzplatte auf das Deutlichste von einander unterschieden. Es sind auf denselben eigenthümliche elektrische Figuren entstanden, zu deren Erkennung schon ein leichtes Anhauchen der Fläche hinreicht. Bestreut man diese Flächen mit einem Gemenge von Mennige und Schwefelblumen, so erscheint auf der einen Fläche eine rothe Scheibe mit rother Kreiseinfassung, auf welche ein nicht bestäubter Kreis folgt, von welchem gelbe Strahlen ausgehen; auf der andern Fläche sind gelbe und rothe Kreissegmente sichtbar, die von einem breiten rothen Ringe eingefaßt sind. Da es darauf ankam, die Magnetisirung durch den Nebenstrom zu untersuchen, so wurde in dem Nebendrahte eine kleine rechtsgewundene Drahtschraube angebracht, in welche eine englische Nähnadel von 2,9 Centimeter Länge und 0,5 Millimeter Dicke gelegt wurde. — Figur 85 zeigt die Anordnung des Apparats. AB deutet den Hauptdraht an, ab den Nebendraht, beide zu flachen Spiralen aufgewunden, CD den Henley'schen Auslader, dessen Arme C und D durch einen kurzen Kupferdraht verbunden sind oder zwischen denen, wo der Hauptdraht als verlängert bezeichnet ist, ein 0,2 Millimeter dicker Neusilberdraht von 1 Meter Länge befestigt worden. Der Nebendraht ist durch zwei ohngefähr ein Meter lange

Fig. 85.




Kupferdrähte verlängert, deren einer sich in die rechtgewundene Drahtschraube fortsetzt, an welcher ein Ende mit m bezeichnet ist. Die Enden des Nebendrahtes werden von zwei sehr feinen Spitzen $\alpha$, $\beta$ gebildet, welche auf Glasstäben isolirt mittelst einer Schraubenvorrichtung gegen einander bewegt werden können. In nachstehender Tabelle sind die Abstoßungen angegeben, welche die magnetisirte Nadel an einer Bussole hervorbrachte und mit + bezeichnet, wenn bei positiver Ladung der Batterie das an dem Ende m der Schraube liegende Nadelende ein Nordpol, bei negativer ein Südpol war. Ferner ist die Spitze des Mikrometers angegeben, an welcher sich die strahlenförmige Figur auf der Harzfläche bildete. Die Batterie bestand aus 5 Flaschen, die Haupt- und Nebenspirale aus 16,6 Meter Kupferdraht.

| Entfernung der Spiralen. | Elektricitätsmenge. | Polarität bei m. | Magnetisirung. | Strahlenförmige Figur bei |
|---|---|---|---|---|
| 0,44 Cent. | 4 + | S | — 2° | $\beta$ |
| 0,44 „ | 4 — | N | — 3° | $\alpha$ |
| 0,44 „ | 20 + | N | + 0,3 | $\beta$ |
| 0,44 „ | 4 + Hauptdraht verlängert | S | — 9 | $\beta$ |
| 1,09 „ | 20 + | N | + 5 | $\beta$ |
| 2,18 „ | 20 + | N | + 3,7 | $\beta$ |
| 2,18 „ | 20 — | S | + 2,5 | $\alpha$ |
| 4,36 „ | 20 + | N | + 2,5 | $\beta$ |
| 4,36 „ | 20 — | S | + 2,3 | $\alpha$ |
| 7,9 „ | 20 + | N | + 0,5 | $\beta$. |

Aus diesen Versuchen geht unbestreitbar hervor, daß der Nebenstrom der elektrischen Batterie unter allen Umständen, welche eine verschieden gerichtete Magnetisirung bedingen, im Nebendrahte stets eine mit dem Entladungsstrome im Hauptdrahte übereinstimmende Richtung hat.

Rieß verband die Enden eines Nebendrahtes mit dem Neusilberdrahte eines Luftthermometers und änderte die Stärke der Batterieentladung durch Aenderung der Flaschenzahl der Batterie, der Elektricitätsmenge, mit welcher sie geladen wurde. Die folgende Tabelle enthält die Resultate einer

Versuchsreihe. In derselben bedeutet s die Anzahl der Flaschen, q die Elektricitätsmenge; die erste Columne mit der Ueberschrift Erwärmung gibt die Anzeige des Luftthermometers, die zweite Columne die nach der Formel $h = 0{,}063 \frac{q^2}{s}$ berechneten Werthe, wo 0,063 ein aus den Beobachtungen entnommener Mittelwerth ist. Unter der Ueberschrift Magnetismus sind die Abstoßungen angegeben, welche die Stahlnadeln zeigten, die in der eingeschalteten Drahtschraube gelegen hatten.

| s | q | Erwärmung. | | Magnetismus. |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 20 | 5,0 | 5,0 | 0,3 |
| | 25 | 7,5 | 7,9 | 0,6 |
| | 30 | 10 | 11 | 1,3 |
| 10 | 20 | 2,8 | 2,5 | 0,6 |
| | 30 | 5,7 | 5,7 | 0,5 |
| 20 | 20 | 1,5 | 1,3 | 2 |
| | 30 | 2,7 | 2,8 | 0,3 |
| | 40 | 5,5 | 5 | 1,5 |
| 25 | 20 | 1,2 | 1 | 2 |
| | 30 | 2,2 | 2,3 | 2,5. |

Aus diesen Versuchen folgt, daß der in dem Nebendrahte erregte Strom in Bezug auf Wärmeerregung dem Entladungsstrome der Hauptschließung vollkommen analog ist. — Auch lehrten die Versuche, daß die in einem Nebendrahte erregte Elektricitätsmenge unter sonst gleichen Umständen der Länge des wirkenden Hauptdrahtes proportional ist. Denn bei gleichbleibender Schließung und constanter Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie erhielt man bei 24; 53; 82 und 101 Windungen im Hauptdrahte beziehungsweise eine Erwärmung von 3,5; 6,7; 11,2; und 4 wenn die Enden des Nebendrahtes mit dem Platindrahte des Luftthermometers verbunden waren.

Die Entladung einer Leidener Flasche vermag ebenfalls den Extrastrom hervorzubringen, wie Dove auf folgende Art nachgewiesen hat. Die Enden eines in Holz spiralförmig eingelassenen Kupferdrahtes, dessen Windungen gehörig von einander isolirt waren, wurden mit den beiden Belegungen der Leidener Flasche in Verbindung gebracht; zugleich waren an den die Verbindung herstellenden Leitungsdrähten zwei mit metallenen Handhaben versehene Drähte angelöthet. — Faßt man nun die Handhaben mit befeuchteten Händen an, so erhält man bei der Entladung der Flasche einen Schlag, der ausbleibt, wenn die Spirale sich nicht zwischen den beiden Drähten der Handhaben befindet. Der primäre Strom geht nämlich in dem einen wie in dem andern Falle durch den Draht wegen des zu großen Leitungswiderstandes, welchen der menschliche Körper darbietet.

Die Entladung einer Leidener Flasche vermag ebenfalls einen Inductionsstrom höherer Ordnung hervorzurufen. Man halte über eine breite Bandspirale eine zweite Bandspirale, deren Enden mit denen einer Spirale von Kupferdraht verknüpft sind und über diese Spirale eine Drahtrolle, an deren Enden metallene Handhaben befestigt sind. Beim Anfassen der Handhaben fühlt man einen vom tertiären Strome herrührenden Schlag in dem Momente, in welchem die Entladung der Leidener Flasche durch die erste Bandspirale läuft.

## II. Magnetische Induction (Magnetoelektricität).

### 1. Induction durch Magnete. — Gesetze der Inductionsströme.

Da ein Magnet Aehnlichkeit mit einem Solenoid hat, so mußte man wohl bald auf den Gedanken kommen zu versuchen, elektrische Ströme durch Magnete zu induciren. Zur Nachweisung einer derartigen Magnetoinduction bedient man sich einer Inductionsrolle, welche durch die Windungen eines feinen mit Seide übersponnenen 200 bis 300 Meter langen Kupferdrahtes gebildet wird, dessen beide Enden mit einem gehörig entfernt stehenden Galvanometer verbunden sind. — Schiebt man nun rasch einen Magnetstab in die Höhlung der Inductionsrolle, so zeigt der Ausschlag der Galvanometernadel einen Inductionsstrom an. Der Inductionsstrom ist hier ebenfalls nur von kurzer Dauer, denn die Nadel kehrt alsbald wieder in ihre ursprüngliche Lage zurück. — Zieht man den Magnetstab aus der Rolle wieder heraus, so zeigt die Ablenkung der Nadel ebenfalls einen momentanen Inductionsstrom an, welcher eine von dem vorigen entgegengesetzte Richtung hat. — Dieselben Erscheinungen treten ein, wenn man einer flachen mit einem Galvanometer verbundenen Spirale in senkrechter Richtung zu ihrer Ebene schnell einen Magnetpol nähert und rasch in derselben Richtung wieder davon entfernt.

Auf folgende Art erhielt Faraday zuerst einen elektrischen Funken. Er wickelte einen sechs Meter langen mit Seide übersponnenen Kupferdraht auf eine hohle Papprühre, versah das eine Ende des Drahtes mit einer kleinen amalgamirten Kupferscheibe, während er das andere dergestalt bog, daß es diese Scheibe in der Mitte berührte. Wurde nun ein starker Magnetstab in die Röhre so gesteckt, daß er das Ende des Drahtes von der Kupferscheibe abheben mußte; so entstand an der Trennungsstelle ein elektrischer Funke.

Legt man in die Höhlung einer Inductionsrolle einen weichen Eisenstab und nähert ihm rasch einen kräftigen Magneten, so wird das Eisen magnetisch. Dieser plötzlich auftretende Magnetismus in dem weichen Eisen inducirt in der Drahtrolle einen Inductionsstrom ganz in der näm-

lichen Weise wie das Hineinfahren des Magnets in die Höhlung der Rolle. — Entfernt man den Magneten, so verschwindet der Magnetismus im weichen Eisen, wodurch in der Rolle ein Strom inducirt wird, welcher mit dem beim Herausziehen des Magnets aus der Rolle auftretenden übereinstimmt.

Die Eigenschaft des weichen Eisens sich unter dem Einflusse eines Volta'schen Stromes zu magnetisiren und nach Unterbrechung desselben zu entmagnetisiren, hat man zur Verstärkung der Inductionsströme benutzt. Stellt man nämlich in die Höhlung der Inductorspirale einen Stab von weichem Eisen, so wird derselbe magnetisch, wenn der galvanische Strom durch die Spirale fließt. Zugleich inducirt er in der Inductionsspirale einen Inductionsstrom, welcher mit dem durch den Hauptstrom erregten Inductionsstrom übereinstimmt, wodurch letzterer verstärkt wird. — Beim Oeffnen der Kette ist die Inductionsspirale abermals dem Einflusse zweier inducirender Wirkungen ausgesetzt, deren eine dem Verschwinden des Stroms in der Inductorspirale, die andere dem Verschwinden des Magnetismus im Eisenstabe entspricht. Hieraus ist erklärlich, weßhalb beim Oeffnen und Schließen der Kette das Vorhandensein des Eisenstabes im Innern der Inductorspirale die Inductionsströme verstärkt.

Lenz hat die Gesetze festgestellt, welchen die Inductionsströme bei ihrer Erregung unterworfen sind; sie sind denen der primären Ströme analog, wie sich dies erwarten ließ. Zunächst bestimmte Lenz den Einfluß, welchen die Anzahl der Windungen ausübt. Zu diesem Behufe umwand er einen Eisencylinder mit einer Spirale, deren Enden mit einem Galvanometer verbunden waren, legte dann den Eisenkern als Anker an einen Stahlmagneten und beobachtete den an der Galvanometernadel bewirkten Ausschlag, sobald er den Anker wieder abriß. Als dieser Anker nach und nach mit 5, 10, 15 und 20 Windungen umgeben war, ergaben sich beziehungsweise folgende Ablenkungen: $8^0{,}6$; $17^0{,}4$; $26^0{,}45$; und $35^0{,}25$. Aus diesen Versuchen folgt, daß die elektromotorische Kraft, welche ein Magnet in einer Inductionsspirale erregt, bei gleicher Größe der Windungen, bei gleicher Dicke und gleicher Substanz des Drahtes der Anzahl der Windungen direct proportional ist.

Um den Einfluß der Weite der Windungen zu untersuchen, nahm Lenz zwei Spiralen, deren eine 1,91 Centimeter und deren andere 7,3 Centimeter Durchmesser hatte. Die erstere bewirkte einen Ausschlag von $7^0{,}92$, während die zweite einen Ausschlag von $13^0{,}5$ gab. Das Verhältniß der Durchmesser der Spiralen betrug 1 : 38,8, dagegen die Ablenkung der engeren Spirale nicht ganz das Doppelte von der der weiten ausmachte. Bezeichnet nun L den Leitungswiderstand des Multiplicators,

l den in den Leitungsdrähten, λ und λ' den in den Spiralen; ferner x die elektromotorische Kraft für die enge Spirale und x' diese Kraft für die weite Spirale; so hat man nach dem Ohm'schen Gesetze:

$$\frac{x}{L+l+\lambda} = p \sin 6^0\,45' \text{ und } \frac{x'}{L+l+\lambda'} = p \sin 3^0\,52',$$

wo p eine Constante bedeutet. Hieraus entspringt für das Verhältniß der elektromotorischen Kräfte die Relation:

$$\frac{x}{x'} = \frac{(L+l+\lambda)\,\sin 6^0\,45'}{(L+l+\lambda')\sin 3^0\,52'}.$$

Bei dem Lenz'schen Versuche war $L+l+\lambda' = 1222{,}75$ und $L+l+\lambda = 692{,}45$; mithin $\frac{x}{x'} = 1{,}0107$. Das Verhältniß der beiden elektromotorischen Kräfte weicht von der Einheit wenig ab, was uns berechtigt anzunehmen, daß die elektromotorische Kraft, welche der Magnetismus in der ihn umgebenden Spirale inducirt, bei jeder Größe der Windungen dieselbe ist.

Zur Prüfung des Einflusses der Dicke des Drahtes wandte Lenz drei gleich weite Spiralen an, bei denen sich die Querschnitte wie 233 : 839 : 1661 verhielten. Die Zahl der Windungen betrug 10 und die ganze Länge derselben 86 Centimeter. Mit der ersten Spirale, für welche $L+l+\lambda = 712{,}06$, fand er die Ablenkung $\alpha = 38^0{,}1$; mit der zweiten Spirale, für welche $L+l+\lambda' = 684{,}03$, erhielt er $\alpha = 39^0{,}6$; mit der dritten Spirale, für welche $L+l+\lambda'' = 678{,}69$ bekam er $\alpha = 39^0{,}7$. Hieraus entspringen für die elektromotorischen Kräfte x', x'' der beiden letzten Spiralen mit der ersten x verglichen, die Verhältnisse

$$\frac{x}{x'} = \frac{712{,}06 \sin 19^0\,3'}{684{,}03 \sin 19^0\,48'} = 1{,}003;$$

und

$$\frac{x}{x''} = \frac{712{,}06 \sin 19^0\,3'}{678{,}09 \sin 19^0\,51'} = 1{,}008.$$

Beide Verhältnisse sind so wenig von der Einheit verschieden, daß die durch den Magneten in der Spirale hervorgerufene elektromotorische Kraft von der Dicke des Drahtes unabhängig ist.

Um den Einfluß der verschiedenen Substanzen zu untersuchen, verfuhr Lenz folgendermaßen. Er brachte in den Schließungskreis je zwei sonst gleiche Spiralen, aber von verschiedenen Metallen zu gleicher Zeit, indem er das eine Ende der einen mit dem einen Leitungsdrahte, das eine Ende der andern mit dem andern Leitungsdrahte, die beiden frei gebliebenen Enden der Spiralen aber durch einen besonderen Kupferdraht verband. Hierauf brachte er zuerst die eine Spirale auf den Eisenanker des Magnets und verfuhr mit ihm wie in den früheren Versuchen, hernach die andere Spirale. Auf diese Weise war der Leitungswiderstand, welchen

der elektrische Strom bei den beiden Erregungsarten erlitt, ganz derselbe. Auf dem eingeschlagenen Wege erhielt er folgende Resultate:

| | | Ablenkung $\alpha$. |
|---|---|---|
| Mit der Kupfer- und Eisenspirale | Kupferspirale auf dem Anker | 17° 36′ |
| | Eisenspirale auf dem Anker | 17° 35′,2 |
| Mit der Kupfer- und Platinspirale | Kupferspirale auf dem Anker | 15° 34′,5 |
| | Platinspirale auf dem Anker | 15° 35′,2 |
| Mit der Kupfer- und Messingspirale | Kupferspirale auf dem Anker | 18° 19′,2 |
| | Messingspirale auf dem Anker | 18° 20′,2. |

Bezeichnen x, x′, x″, x‴ die elektromotorischen Kräfte für Kupfer, Eisen, Platin und Messing, so ergeben sich daraus folgende Verhältnisse:

$$\frac{x}{x'} = \frac{\sin . 8^0 43'}{\sin . 8^0 42',6} = 1,0003;$$

$$\frac{x}{x''} = \frac{\sin . 7^0 47',2}{\sin . 7^0 47',6} = 0,9992;$$

$$\frac{x}{x'''} = \frac{\sin . 9^0 9',6}{\sin . 9^0 10',2} = 0,9089.$$

Diese drei Verhältnisse liegen sämmtlich der Einheit so nahe, daß man annehmen kann, die elektromotorische Kraft, welche ein Magnet in Spiralen aus Drähten von verschiedenen Substanzen erregt, sei für alle diese Substanzen gleich.

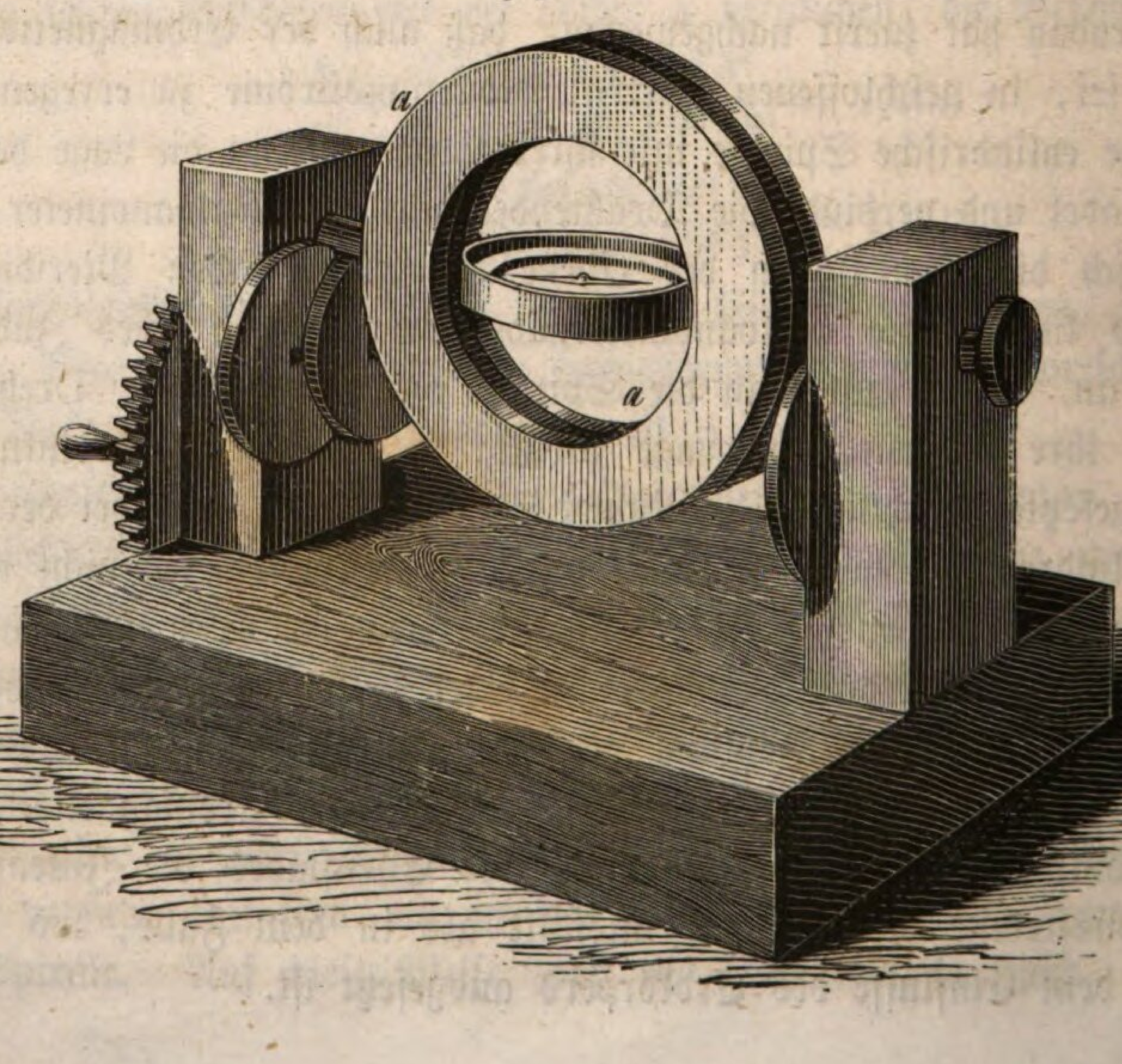
## 2. Induction durch den Erdmagnetismus. — Weber's Inductionsinclinatorium.

Faraday hat zuerst nachgewiesen, daß auch der Erdmagnetismus im Stande sei, in geschlossenen Leitern Inductionsströme zu erregen. Man stelle eine cylindrische Spirale mit ihrer Längsachse in die Lage der Inclinationsnadel und verbinde die Drahtenden mit dem Galvanometer. Dreht man rasch die Spirale in der Ebene des magnetischen Meridians um 180°, so kündigt die Galvanometernadel die Existenz eines Inductionsstromes an. — Bringt man die Spirale durch eine zweite Drehung um 180° in ihre ursprüngliche Lage zurück, so erfolgt die Ablenkung nach entgegengesetzter Richtung. — Richtet man es so ein, daß bei der zweiten halben Umdrehung die Drahtenden mit dem Galvanometer nicht in leitender Verbindung stehen; so ist es möglich, durch die rasch aufeinander folgenden Inductionsströme die Nadel in einer bestimmten Ablenkung zu erhalten. — Der in der Höhlung der Spirale befindliche Eisenstab erfährt ebenfalls eine inducirende Wirkung von Seiten des Erdmagnetismus, woher es kommt, daß nach Einführung des Eisenstabes die Intensität der Inductionsströme beträchtlicher ausfällt als in dem Falle, wo blos die Spirale dem Einflusse des Erdkörpers ausgesetzt ist.

Sehr leicht lassen sich dergleichen Inductionsströme nachweisen, wenn man den Drahtwindungen die Form einer Ellipse gibt, deren große Achse 2,2 Meter und kleine Achse 0,6 Meter lang ist und sie dann um die große auf dem magnetischen Meridian senkrecht stehende Achse in Drehung versetzt. Die beiden Enden des elliptisch gewundenen Kupferdrahtes stehen mit zwei Metallstreifen in Verbindung, welche auf einem Holzring befestigt sind. Auf diesem Ringe schleifen außerdem zwei Metallfedern, welche mit den Zuleitungsdrähten eines Galvanometers verbunden sind. Bei jeder halben Umdrehung der Spirale wechselt in derselben die Richtung des Stromes, zugleich treffen aber auch bei jeder halben Umdrehung die Federn auf einen andern Metallstreifen, was bewirkt, daß die Richtung des Stromes im Galvanometer ungeändert bleibt und die Nadel nur nach einer bestimmten Richtung abgelenkt wird. Die Ablenkung erfolgt nach Ost oder West, je nach dem Sinne der Drehung der Spirale. — Während der Drehung muß die Spirale so gestellt werden, daß ihre Drehungsachse senkrecht auf dem magnetischen Meridian steht, und der Stromwechsel muß jedesmal in dem Moment eintreten, in welchem die Ebene der Windungen eine zur Richtung der Inclinationsnadel parallele Lage hat. — Auf diese Weise ist es gelungen, durch erdmagnetische Induction dieselben Wirkungen hervorzubringen, welche auf dem Wege der Volta- oder Magneto-Induction erzeugt werden.

Weber hat die erdmagnetische Induction zur Bestimmung der magnetischen Inclination benutzt. Sein Inductionsinclinatorium hat die in

Fig. 86.



Figur 86 dargestellte Einrichtung. Der Ring a a hat 100 Millimeter inneren und 161 Millimeter äußern Durchmesser und besteht aus 16 ringförmig ausgeschnittenen Kupferblechen, von denen 8 auf der einen und 8 auf der andern Seite dicht neben einander liegen, diese aber von jenen durch einen 12 Millimeter weiten Zwischenraum geschieden sind. Die Dicke des ganzen Rings mit Einschluß des Zwischenraums beträgt 34 Millimeter. Der Ring ist mit horizontaler Achse versehen, welche auf Frictionsrollen liegend durch Rad und Getriebe schnell gedreht werden kann. In diesem Ringe schwebt eine Bussole frei auf einer Spitze, die von einem runden horizontalen Zapfen getragen wird, welcher durch den Kupferring geht und die Verlängerung der Drehungsachse des Ringes bildet. Der Kupferring dreht sich um diesen Zapfen, ohne ihn und die Spitze, auf welcher die Nadel ruht, zu bewegen. Das Instrument wird so aufgestellt, daß die Drehungsachse des Rings horizontal ist und mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt. — Wenn die magnetische Achse der Bussole in der Drehungsachse des Kupferringes liegt, so vermag der Nadelmagnetismus im Kupferringe keinen galvanischen Strom zu induciren. Eben so wenig kann die horizontale erdmagnetische Kraft einen Strom induciren, weil sie in eben der Richtung wirkt. Dagegen muß die verticale Componente des Erdmagnetismus einen galvanischen Strom in dem Kupferringe induciren, wenn er um eine horizontale Achse gedreht wird. — Während der Rotation des Ringes wirken zwei Kräfte auf die Bussole, die eine parallel mit dem magnetischen Meridian $= mH$, die andere senkrecht gegen den magnetischen Meridian $= bmV$, wo m die Stärke des Nadelmagnetismus, H die horizontale erdmagnetische Kraft, V die verticale erdmagnetische Kraft und b einen constanten Factor bezeichnet. Folglich ist die Tangente des Ablenkungswinkels $v = \frac{bmV}{mH}$ oder $\tang v = b \tang i$ oder $\tang i = a \cdot \tang v$, wo i die Inclination der erdmagnetischen Kraft und $a = \frac{1}{b}$ ist. — Sieben Umdrehungen der Kurbel entsprechen vierzig Umdrehungen des Inductionsringes. Bei jedem Schlage des Secundenzählers ward die Kurbel entweder $\frac{1}{2}$ oder 1 Mal herumgedreht, wonach auf jeden Schlag $\frac{20}{7}$ oder $\frac{40}{7}$ Umdrehungen des Ringes kommen. Der Secundenzähler gab aber nicht genau Secunden an, sondern 60 Schläge entsprachen 61,7 Secunden, wonach 166,7 oder 333,4 Umdrehungen des Ringes in einer Minute geschehen. — Bei 166,7 Umdrehungen des Ringes in der Minute wurde die Magnetnadel um $5^0,63$, bei 333,4 Umdrehungen um $10^0,76$ abgelenkt; woraus folgt, daß die Ablenkung, mithin auch die Stärke des inducirten Stromes nahezu der Umdrehungsgeschwindigkeit proportional ist.

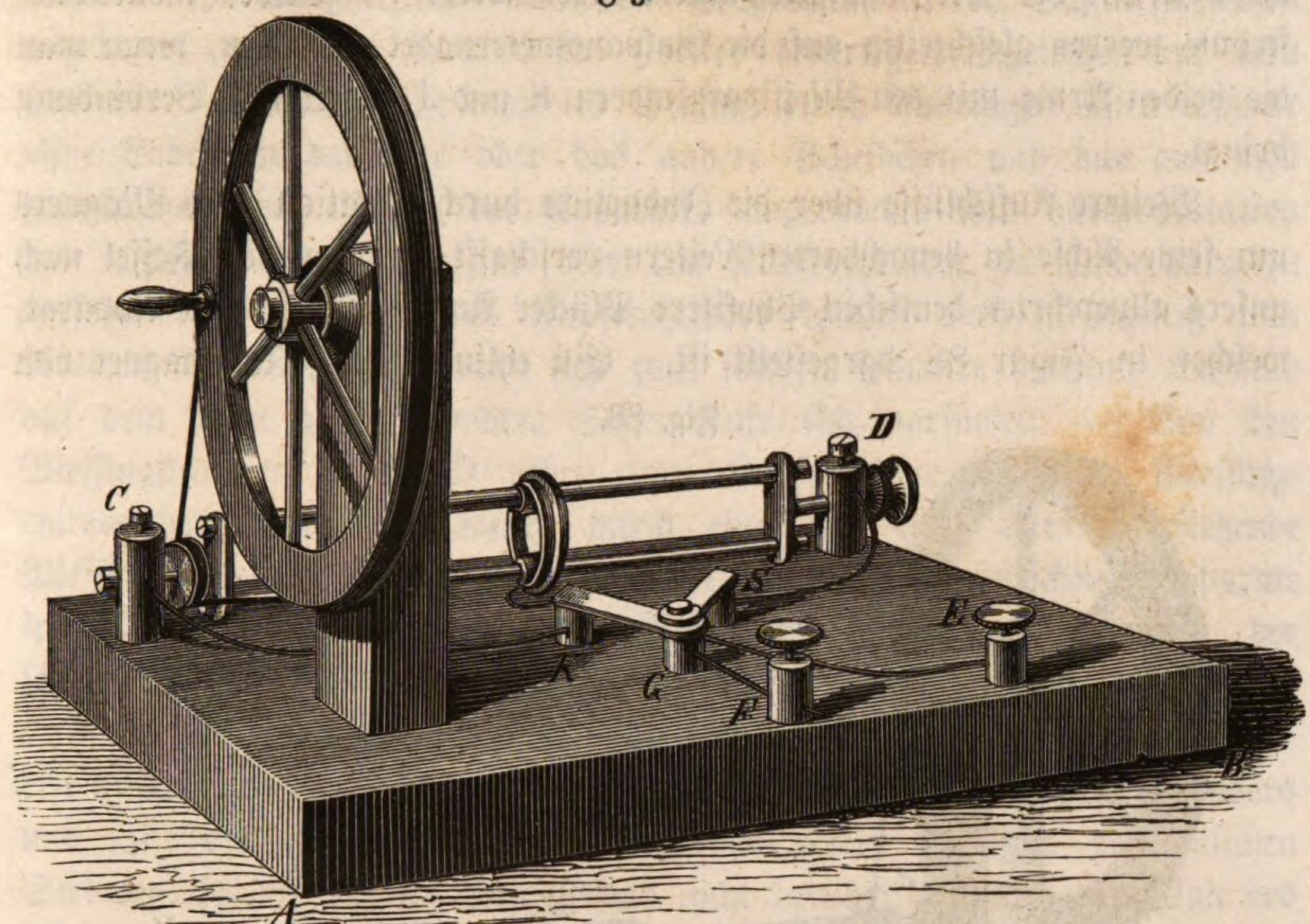
Den Factor a kann man für eine bestimmte Umdrehungsgeschwindigkeit ermitteln, wenn die Inclination i des Ortes genau bekannt ist. Nach den von Weber angestellten Beobachtungen war für 166,7 Umdrehungen in der Minute die Ablenkung $v = 5^{0},465$; also $\tang v = 0,0962$. Nun beträgt in Göttingen die Neigung i ohngefähr $67^{0},5$; also $\tang i = 2,4545$. Daraus ergibt sich $a = \frac{\tang i}{\tang v} = 25,514$. — Für die erwähnte Umdrehungsgeschwindigkeit haben wir demnach $\tang i = 25,54 \tang v$. Man kann also, wenn an irgend einem Orte der Ablenkungswinkel v mit Hülfe des Inductionsinclinatoriums beobachtet worden ist, aus diesem Ablenkungswinkel v die magnetische Inclination des Ortes bestimmen. — Im Uebrigen ändert sich der Factor von v im umgekehrten Verhältniß der Umdrehungsgeschwindigkeit.

## 3. Induction durch Rotation eines Magnets um seine Achse. — Bipolare und unipolare Induction. — Apparat mit drehbarem Kupfercylinder und drehbarem Magnet.

Durch Rotation eines Magnets um seine Achse kann in einem geschlossenen vorher stromlosen Leiter ein elektrischer Strom inducirt werden, welcher so lange anhält, als die Drehung des Magnets dauert. Was die Richtung dieses Stromes betrifft, so ist sie die umgekehrte von der des Stromes, welcher den Magnet in derselben Richtung gedreht hätte. Eine Drehung in umgekehrter Richtung hat eine Umkehrung des Stromes zur Folge. — Eigentlich werden durch die Bewegung des Magnets in dem benachbarten Leiter zwei elektrische Ströme erregt, nämlich der eine durch die Bewegung des nördlichen Fluidums, der andere durch die Bewegung des südlichen Fluidums. Diese Induction zweier Ströme durch die Bewegung beider magnetischen Fluida nennt Weber eine **bipolare Induction**. Dagegen heißt er **unipolare Induction** diejenige Induction, welche durch die Bewegung eines magnetischen Fluidums erzeugt wird. — Streng genommen können wir keine unipolare Induction zu Stande bringen, weil wir keinen Körper haben, in welchem blos nördliches oder blos südliches Fluidum existirte. Beide Fluida sind aber in einem magnetischen Körper räumlich von einander geschieden, wodurch es möglich erscheint, den einen oder den andern Pol gänzlich außerhalb des Schließungsbogens zu legen und damit dessen Wirkung im Ganzen zum Verschwinden zu bringen.

Ein derartiger Apparat zur Erregung und Beobachtung der unipolaren Induction ist der in Figur 87 dargestellte. Zwei mit einander verbundene cylindrische Stahlmagnete von 23,5 Centimeter Länge und 11,1 Millimeter Dicke liegen in horizontaler Lage leicht beweglich auf zwei

Fig. 87.

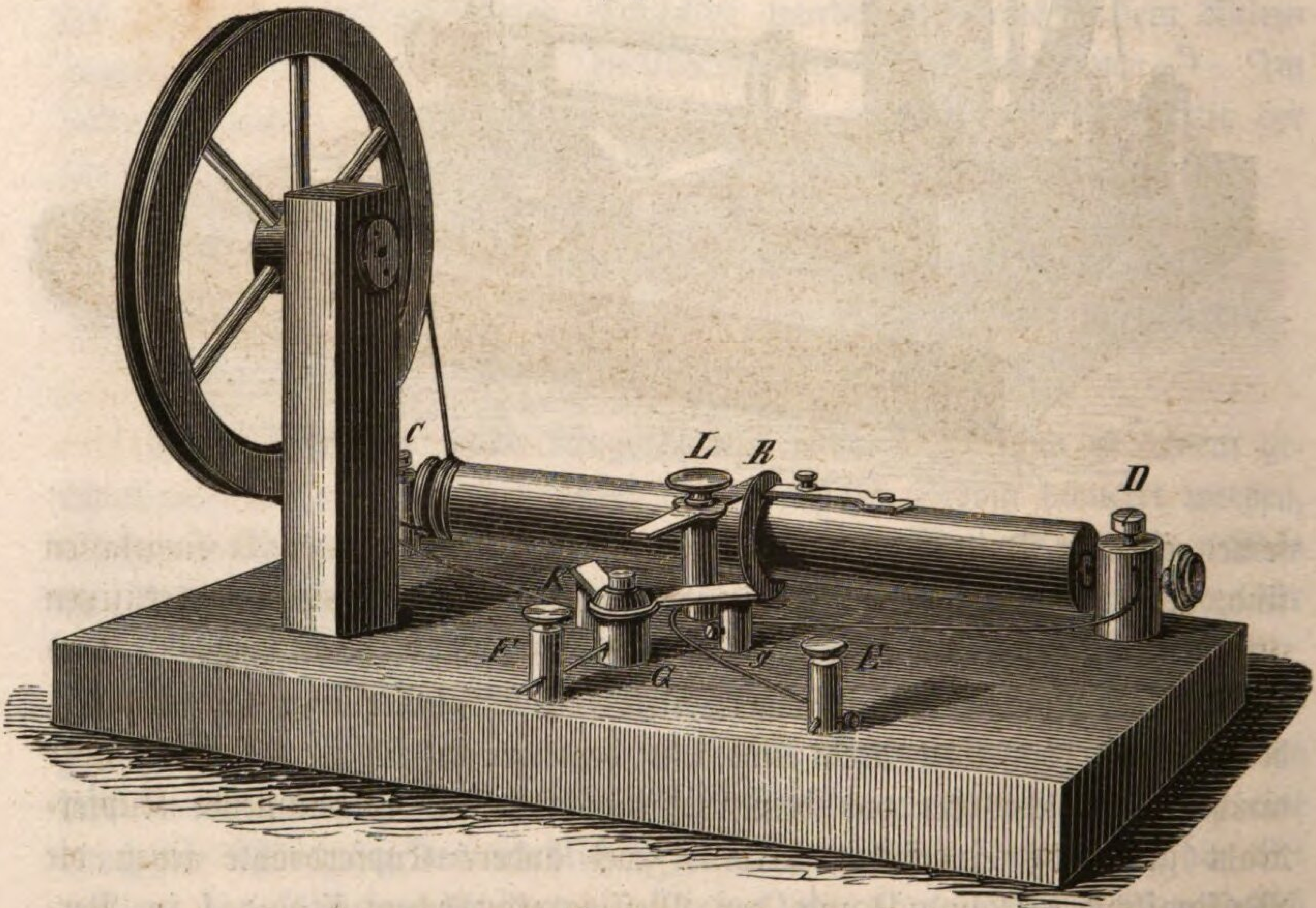



feinen eisernen Spitzen, welche in zwei Messingständer C und D eingelassen sind, deren eines mit einer Schraube versehen ist. Diese Ständer sitzen auf einem Brette AB fest, welches den ganzen Apparat trägt. Das System der Magnete ist in seiner Mitte mit einem Messingringe umgeben, der sich mit demselben dreht und mit dem untern Theile in Quecksilber taucht, in welches der von dem Messingsäulchen E herkommende Kupferdraht gleichfalls eingeführt wird. Zwei andere Kupferdrähte setzen die Messingständer C und D mit den Messingcylinderchen K und J in Verbindung, welche ihrerseits durch eine verschiebbare aus zwei Armen bestehende Messingplatte nach Belieben mit dem kleinen Messingcylinder G verbunden werden können, der seinerseits mit dem Messingsäulchen F in leitender Verbindung steht. Die Umdrehung des Magnets um seine Achse wird durch ein Rad bewerkstelligt, um welches sowie gleichzeitig um das Schnurscheibchen des Magnetstabes eine Schnur ohne Ende gelegt wird. Setzt man die Magnete in Rotation, so wird eine ziemlich starke Ablenkung an dem Galvanometer wahrgenommen, dessen Drahtenden in die Messingsäulchen F und E festgeklemmt sind. — Der Nordpol inducirt einen Strom, während der Südpol keine Induction bewirken kann, wenn der eine Arm der Messingplatte auf dem Messingcylinderchen K liegt und der andere Arm von dem Cylinderchen J weggezogen ist. Dagegen inducirt der Südpol einen Strom, wenn dieser andere Arm auf dem letztgenannten Cylinderchen sich befindet, während die Berührung des Cylinder-

chens J mit der Messingplatte unterbrochen wird. — Beide Inductionsströme werden gleichzeitig auf die Galvanometernadel einwirken, wenn man die beiden Arme mit den Messingcylindern K und J zugleich in Verbindung bringt.

Weitere Aufschlüsse über die Induction durch Rotation eines Magnets um seine Achse in benachbarten Leitern verschafft uns der von Fessel nach unsers allverehrten deutschen Physikers Plücker Angabe angefertigte Apparat, welcher in Figur 88 dargestellt ist. Ein cylindrischer Stahlmagnet von

Fig. 88.




23,5 Centimeter Länge und 7 Millimeter Dicke liegt in horizontaler Lage leicht um seine Achse drehbar auf zwei feinen eisernen Spitzen, welche in zwei kleine Messingständer C und D eingelassen sind, deren einer wieder mit einer Schraube versehen ist. Den Magneten umgibt der Länge nach ein gleichfalls um seine Achse drehbarer Messingcylinder von 2,58 Centimeter äußerem Durchmesser. Durch eine isolirende Substanz, wie festes Holz oder Elfenbein, ist der Kupfercylinder vor leitender Verbindung mit dem Magnetstab geschützt, mit welchem der Cylinder durch Niederdrücken der auf ihm befestigten Kupferfeder übrigens leitend verbunden werden kann. Der Cylinder ist in seiner Mitte mit einer Messingscheibe umgeben, die sich mit ihm dreht und mit dem unteren Rand in das Quecksilber taucht, in welchem sich auch der durch den Messingständer L geführte nach dem Messingsäulchen E gehende Kupferdraht befindet. Wird der Stift der Leitungsfeder R durch die Elfenbeinhülse des Cylinders gesteckt, so be-

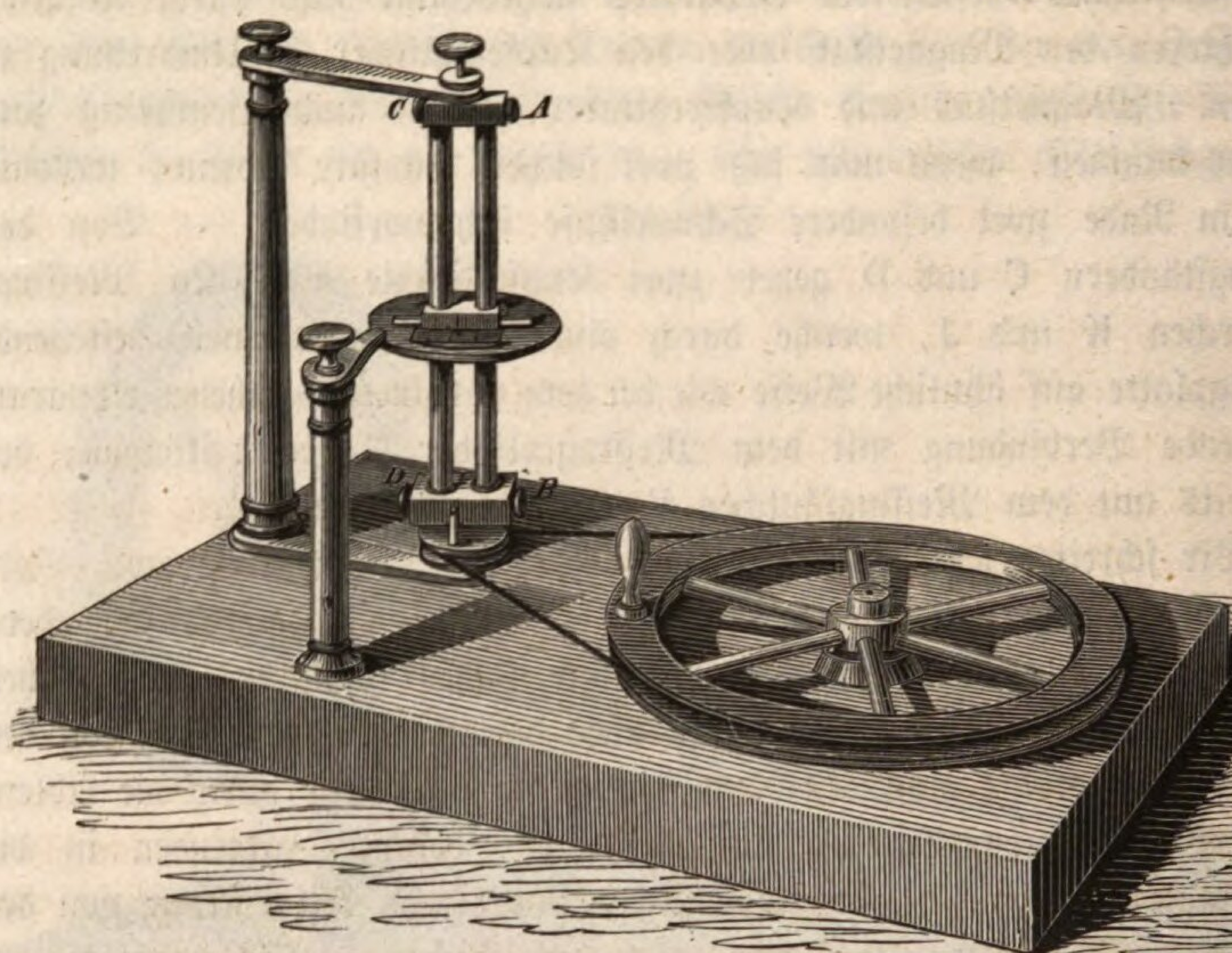
rührt er den Magnetstab. Auf dem Magnetstab ist ein Schnurscheibchen angebracht und dicht daneben ein zweites derartiges Scheibchen auf dem Cylinder. Dergestalt ist man im Stande, durch Anbringen einer Schnur ohne Ende um das eine oder das andere Scheibchen und das auf dem gemeinschaftlichen Gestell des Apparates angebrachte Rad durch Rotation des letzteren den Magnetstab oder den Kupfercylinder in Umdrehung zu versetzen. Magnetstab und Kupfercylinder können auch gleichzeitig zum Rotiren kommen, wenn man sich zwei solcher Schnüre bedient, weßhalb auf dem Rade zwei besondere Schnurläufe sich vorfinden. — Von den Messingständern C und D gehen zwei Kupferdrähte nach den Messingcylinderchen K und J, welche durch eine aus zwei Armen bestehende Messingplatte auf ähnliche Weise wie bei dem vorhin besprochenen Apparate in leitende Verbindung mit dem Messingcylinder G treten können, der seinerseits mit dem Messingsäulchen F leitend verbunden ist.

Wir schreiten jetzt zu einigen Versuchen mit diesem Apparate. Vorerst stecke man die Leitungsfeder durch die Elfenbeinhülse des Cylinders und lasse die auf dem Cylinder befestigte Feder in ihrer gewöhnlichen Stellung, so daß sie den Magnetstab nicht berührt. Durch Rotation des Magnetstabes erhält man den Inductionsstrom, welcher durch die Ablenkung der Galvanometernadel angezeigt wird, deren Drahtenden in die Messingsäulchen p und n befestigt sind. Man kann den Strom von der Nord- oder Südhälfte allein oder auch von beiden zugleich erhalten. — Man bringe ferner die Schnur auf das Schnurscheibchen des Cylinders, setze die Mitte desselben durch Quecksilber mit dem Apparate in Verbindung und lasse wieder die auf dem Cylinder befestigte Feder in ihrer gewöhnlichen Lage. Durch Umdrehung des Cylinders entstehen Inductionsströme, welche man nach Belieben einzeln oder zusammen nehmen kann, je nachdem man die Leitung herstellt. Hierbei ist es für den Erfolg einerlei, ob der Magnet in Ruhe ist, oder ob er gleichzeitig in dem nämlichen Sinne rotirt, oder ob er vermittelst der gekreuzten Schnur in entgegengesetzter Richtung sich dreht. — Läßt man den Magnetstab allein rotiren, ohne daß der Cylinder sich dreht, so entsteht kein Strom. Es ist demnach für den Erfolg nicht gleichgültig, ob der Magnetstab in dem Messingcylinder oder der Messingcylinder um den Magnetstab rotirt: nur im letzteren Falle wirkt der Magnet inducirend auf den Messingcylinder. — Schraubt man endlich die Feder des Messingcylinders nieder, so erhält man bei Anwendung einer Schnur die Inductionsströme des Cylinders und des Magnetstabes. Dagegen heben sich diese Inductionsströme annäherungsweise auf, wenn man den Magnet mittelst der gekreuzten Schnur in einer der des Cylinders entgegengesetzten Richtung rotiren läßt.

## 4. Der Plücker'sche Inductionsapparat.

Zu den beiden vorhergehenden Apparaten hat Plücker noch einen dritten in Figur 89 dargestellten Apparat hinzugefügt, vermittelst dessen

Fig. 89.




wir über die Vorgänge bei der durch Rotation eines Magnets erregten Induction nach verschiedenen Seiten hin näheren Aufschluß erhalten. Der Apparat besteht aus einer auf einem Brette angebrachten horizontalen Metallscheibe, welche um eine verticale Achse sich drehen läßt. Um diese Scheibe und ein kleines Messingscheibchen ist eine Schnur ohne Ende gelegt, wodurch letzteres und damit die zwischen zwei feinen eisernen Spitzen, deren obere mit einer Schraube versehen ist, eingesetzte Vorrichtung gleichzeitig zur Drehung kommt. Gedachte Vorrichtung enthält zwei parallelepipedische Messingstücke, in denen die Enden eines cylindrischen Magnetstabes und eines Kupferstabes festsitzen, beide von 12 Centimeter Länge und 6 Millimeter Dicke, und deren jedes mit zwei Schrauben versehen ist. Die Schraube am Nordpol des Magnetstabes möge **A**, die am Südpol **B**, ferner die Schraube an dem dem Nordpol zunächst liegenden Ende des Kupferstabes **C**, die vierte endlich **D** heißen. Werden die Schrauben etwas zurückgedreht, so sind Magnet- und Kupferstab an beiden Enden isolirt. Je nachdem man das System des Magnetstabes und des Kupferdrahtes um eine der fünf verschiedenen Achsen rotiren läßt, muß die bewegliche Scheibe dergestalt gestellt werden, daß ihr Mittelpunkt in die jedesmalige Rotationsachse fällt, weil sonst die Feder der kleineren Messingsäule nicht

auf dem Messingringe hergleiten kann. Der Apparat ist so eingerichtet, daß sich dies bequem und sicher bewerkstelligen läßt.

Wir gehen jetzt zu den Versuchen. Wird blos A angezogen, so steht der Nordpol und die Mitte des Magnetstabes mit dem Apparate in leitender Verbindung. Wir haben alsdann einen durch den Nordpol inducirten Strom, während der Südpol des Magnets keine entsprechende Induction zu bewirken vermag. — Sind die Galvanometerdrähte in die beiden Säulen eingeklemmt, so erregt der Magnet bei der Rotation um eine der fünf Achsen immer einen gleich starken Strom. — Geschieht die Rotation in umgekehrter Richtung, so erhält man einen Strom in umgekehrter Richtung. — Wird A zurück gedreht und B angezogen, so erhält man den durch den Südpol des Magnets inducirten Strom, welcher mit dem vorhergehenden einerlei Richtung hat, wenn die Drehung in demselben Sinne vor sich geht. — Werden A und B gleichzeitig angezogen, so erhält man die Inductionsströme von der Nord- und Süd-Hälfte zugleich, die doppelt so stark als diejenigen sind, welche von einer Hälfte allein herrühren.

Wird C angeschraubt, nachdem A und B zurückgedreht worden, so erhält man den im Kupferstab durch den Nordpol inducirten Strom. Auch diese Ströme sind gleich stark, um welche von den fünf Achsen auch das System rotiren mag. — Wird D angeschraubt und C zurückgezogen, so erhält man den durch den Südpol inducirten Strom. — Werden C und D gleichzeitig angezogen, so erhält man die von beiden Hälften inducirten Ströme, welche die doppelte Stärke von dem vorigen haben. — Werden A, B, C und D gleichzeitig angeschraubt, so bekommt man die stärksten Ströme.

Werden alle vier Schrauben zurückgezogen, so bleibt die Galvanometernadel, deren Leitungsdrähte mit der Säule in leitender Verbindung stehen, in Ruhe, obschon der Magnet zur Seite der beiden Säulen rotirt. Daraus folgt, daß der zur Seite des Leiters rotirende Magnetstab auf den Leiter keine elektromagnetische Kraft ausübt, wenn er sich nicht um denselben ganz herumbewegt. — Die Erscheinungen der unipolaren Induction gestatten zunächst eine interessante Anwendung bezüglich der Frage, ob den beiden magnetischen Fluidis physische Existenz zuzuschreiben sei oder ob überall statt ihrer die Annahme fortdauernder galvanischer Ströme im Innern der Magnete zur Erklärung der Erscheinungen genüge. Die letztere Annahme scheint von der unipolaren Induction bis jetzt keine befriedigende Erklärung geben zu können, während die Annahme von der physischen Existenz zweier magnetischen Fluida nicht allein jene Erklärung zu liefern scheint, sondern auch auf die Betrachtung dieser Erscheinungen geführt hat.

## III. Rotationsmagnetismus oder Induction durch bewegte metallische Massen unter dem Einflusse von Magneten.

### 1. Arago's Versuche über den Einfluß sogenannter unmagnetischer Substanzen auf die schwingende Magnetnadel.

Als Arago im Verein mit Alexander von Humboldt auf einem Abhange eines Hügels die magnetische Intensität bestimmte, machte er die Beobachtung, daß die Schwingungsweite rascher abnahm und die Nadel schneller zur Ruhe kam, als es sonst der Fall gewesen. Dies brachte Arago auf die Vermuthung, daß manche Substanzen einen Einfluß auf die Magnetnadeln äußern könnten, die in geringem Abstande von ihnen schwingen. Er ließ deßhalb eine Magnetnadel in horizontaler Richtung über verschiedene Metallplatten oder über Scheiben von einer beliebigen anderen Substanz schwingen und bestimmte die Anzahl von Schwingungen, welche nöthig waren, um eine bestimmte Abnahme in der Schwingungsweite zu erhalten. — Auf diese Weise fand er, daß eine Magnetnadel, deren halber Schwingungsbogen ohne Einfluß eines nahen Körpers nach 108 Schwingungen von 18° auf 9° abnahm, sich in der Nähe einer 4,4 Millimeter dicken Kupferscheibe nach 7, in der Nähe einer 1,8 Millimeter dicken Kupferscheibe nach 11 Schwingungen um eben so viel verzögerte. — Ebenso fand er, daß, wenn der Abstand der Nadel vom Wasser 0,65 Millimeter betrug, bei 30 Oscillationen 10 verloren gingen; dagegen bei einer Entfernung von 52,2 Millimetern zu derselben Verminderung 60 Oscillationen erforderlich waren. — Aus diesen und aus einer großen Anzahl auf ähnliche Weise angestellten Versuchen geht unzweideutig hervor, daß von allen Körpern in der Natur auf die in Bewegung versetzte Magnetnadel eine Einwirkung ausgeübt wird.

Aus dergleichen Versuchen hat sich ergeben, daß die Metalle einen viel größern Einfluß auf die Schwingungen der Magnetnadel ausüben, als alle übrigen Körper. Weiter hat sich herausgestellt, daß die Intensität dieser Wirkung sich mit zunehmender Entfernung sehr schnell vermindert. Ferner hat man gefunden, daß die in Rede stehende Wirkung mit der Dicke der Substanz zunimmt, jedoch dies nur bis zu einer gewissen Grenze hin, von welcher an die Vermehrung der Dicke die Wirkung nicht mehr verstärkt. Endlich hat man wahrgenommen, daß unter sonst gleichen Umständen eine zusammenhängende Masse stärker wirkte als diejenige, bei welcher eine Unterbrechung der Continuität stattfindet. Denn durch einen Schnitt kann die Wirkung einer Scheibe sehr verringert werden, welche ihre ursprüngliche Kraft wieder erlangt, wenn man die getrennten Stücke zusammenlöthet. Dagegen erfolgt keine merkliche Wiederherstellung der

Kraft, wenn man die Zwischenräume mit zusammengedrücktem Metallpulver füllt. — Die hemmende und zurückhaltende Wirkung, welche die Metalle, namentlich das Kupfer, auf die Schwingungen der Magnetnadel ausübte, hat man dazu benutzt, um sie schneller zur Ruhe zu bringen, was bei galvanometrischen Messungen von Vortheil ist. Man legt deßhalb eine Kupferplatte unter die Nadel und schließt sie zugleich in einem dicken Kupferbügel ein. Dadurch geschieht es denn, daß die Nadel schon nach drei bis vier Schwingungen zur Ruhe kommt, während sie vorher erst nach mehreren hundert Schwingungen dahin gelangte.

Arago ließ Kupferstäbe, welche genau dieselbe Form und dieselben Dimensionen als ein bestimmter Magnetstab hatten, über verschiedene Substanzen schwingen, wobei er der Torsionskraft der Aufhängungsdrähte sich bediente, um die Schwingungen der Kupferstäbe mit der nämlichen Geschwindigkeit wie die Schwingungen des Magnetstabes vor sich gehen zu lassen. — Bei Anwendung eines Kupferstabes, der an einem Platindrahte aufgehängt war, welchem immer dieselbe Torsion gegeben wurde, fand sich bei der Messung der Abnahme der Amplitude nach zehn Schwingungen über einer Scheibe von Eisen:

bei einer Entfernung von 1 Millimeter eine Abnahme der Amplitude um 49°,5;

nach Entfernung des Eisens 49°.

Ueber Quecksilber, mit einem andern Platindrahte, der langsamere Schwingungen gab:

bei einer Entfernung von 0,7 Millimeter eine Abnahme der Amplitude um 32°;

nach Entfernung des Quecksilbers eine Abnahme von 31°,8.

Diese Versuche zeigen, daß die Anwesenheit oder die Abwesenheit eines fremden Körpers keinen Einfluß auf die Schwingungen des Kupferstabes ausübt.

Mit dem Magnetstab, nachdem erst der Stab um 76° aus dem magnetischen Meridiane entfernt worden, fing man die Oscillationen zu zählen an, sobald die Elongation nur noch 71° betrug, und bemerkte den Verlust, der im Momente stattfand, wo die fünfzigste Schwingung zu Ende ging. Es ergaben sich dabei nachstehende Resultate.

| Substanzen, über welchen der Magnet oscillirte. | Abstände des Magnetstabes von den geprüften Körpern in Millimetern. | Abnahme der Schwingungsweite bei 50 Schwingungen in Graden. |
|---|---|---|
| In der Luft | — | 8,4 |
| Ueber Glas | 10,2 | 9,8 |
| Ueber Wasser | 3,5 | 12,5 |
| Mit einem Harzkuchen | 1,3 | 23,5 |

| Substanzen, über welchen der Magnet oscillirte. | Abstände des Magnetstabes von den geprüften Körpern in Millimetern. | Abnahme der Schwingungsweite bei 50 Schwingungen in Graden. |
|---|---|---|
| Mit pulverisirtem Harz | 1,4 | 20,0 |
| Mit einem Kuchen von Schellack | 1,5 | 13,5 |
| Mit dem leeren Gefäß, in welchem der Schellack war | 2 | 10,0 |
| Mit pulverisirtem Schellack | 1 | 13,5 |

Schlechte Elektricitätsleiter äußern mithin einen bedeutenden Einfluß auf eine schwingende Magnetnadel, mögen dabei diese Körper eine zusammenhängende Fläche bilden oder in feines Pulver zerstoßen sein. Die Einwirkung ist für die verschiedenen Körper nicht dieselbe.

## 2. Arago's Versuche über den Einfluß bewegter metallischer Massen auf die ruhende Magnetnadel.

Da eine in Bewegung befindliche Magnetnadel durch eine ruhende Scheibe von Kupfer oder von einer beliebigen anderen Substanz aufgehalten wird, so vermuthete Arago, daß eine ruhende Magnetnadel durch eine sich bewegende Scheibe aus dem magnetischen Meridian abgelenkt werden könne. Die Erfahrung hat diese Vermuthung vollkommen bestätigt. Den Versuch kann man mit jeder Centrifugalmaschine anstellen. Die Metallscheibe wird auf der Rotationsachse der Centrifugalmaschine aufgeschraubt und um die an jener Achse sitzende Rolle, sowie um die größere Scheibe, welche man mit der Hand dreht, der Treibriemen gelegt. Die Metallscheibe ist in einem Glasgehäuse eingeschlossen, um die durch die Drehung verursachte Luftströmung von der darüber schwebenden Magnetnadel abzuhalten, welche in horizontaler Richtung auf einem über der Mitte der Metallscheibe auf der Glasplatte befestigten Stifte ruht. Die Erscheinungen, welche man auf diese Weise erhalten hat, sind folgende. Bei langsamer und gleichmäßiger Drehung der Scheibe wird die Nadel um 20 bis 30 Grad aus dem magnetischen Meridian in der Richtung abgelenkt, nach welcher sich die Scheibe dreht. Bei hinlänglich großer Drehung der Scheibe geht die Ablenkung in eine vollständige Drehung der Nadel über. — Der Einfluß, den die Scheibe auf die Nadel äußert, nimmt mit der Entfernung und mit der Leitungsfähigkeit des Metalls ab. — Die Wirkung der Scheibe wird durch radiale Einschnitte bedeutend geschwächt, ihre frühere Wirksamkeit jedoch ziemlich wieder hergestellt, wenn die Einschnitte durch irgend ein Metall wieder zugelöthet werden. — Dagegen bleibt die Wirkung geschwächt, wenn man die Einschnitte mit Feilspähnen von Kupfer ausfüllt.

Es ist klar, daß die Kraft, welche die Ablenkung der Magnetnadel bewirkt, parallel zur Tangente der Scheibe gerichtet ist. Indeß hat Arago gezeigt, daß diese Kraft doch nur eine Seitenkraft der ganzen Kraft ist, welche von der drehenden Scheibe auf die Magnetnadel ausgeübt wird. Jene Gesammtkraft hat drei Seitenkräfte, von denen die erstere in der Richtung der Tangente nach dem Sinne der Bewegung wirkt; die zweite senkrecht auf der Ebene der Scheibe steht; die dritte parallel zu dem Radius der Scheibe gerichtet ist. Die erste dieser Seitenkräfte verleiht den horizontalen Nadeln die Rotationsbewegung.

Um die Wirkung der zweiten Seitenkraft nachzuweisen, hänge man einen Magnetstab an dem einen Ende eines Wagebalkens in verticaler Richtung auf und stelle das Gleichgewicht her. Dieses Gleichgewicht wird gestört, sobald man eine unterhalb des Stabes befindliche horizontale Scheibe in Drehung versetzt. Da der Magnetstab leichter geworden zu sein scheint, so folgt daraus, daß die von der Scheibe herrührende Mittelkraft eine auf der Ebene der Scheibe normale Seitenkraft hat, welche beständig abstoßend sich zeigt.

Das Vorhandensein der dritten Seitenkraft hat Arago auf folgende Weise dargethan. Man stelle oberhalb der Scheibe eine Inclinationsnadel auf, welche in einer auf dem magnetischen Meridiane senkrechten Ebene beweglich ist, mithin unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus eine verticale Lage annehmen muß. Befindet sich die Nadel nach einander über dem Mittelpunkt der Scheibe oder über einem andern Punkt des Halbmessers oder über einem Punkt außerhalb ihres Umfanges, so beobachtet man verschiedene Wirkungen, wenn die Scheibe in Bewegung gesetzt wird. Die Nadel bleibt unbeweglich, wenn sie genau über dem Mittelpunkte der Scheibe steht. — Entfernt sich die Nadel vom Mittelpunkte der Scheibe, so wird ihr unteres Ende vom Centrum gleichsam angezogen. Weiter vom Centrum als vom Rande der Scheibe gibt es einen Punkt, über welchem die Nadel keinen merklichen Einfluß erleidet, sondern in ihrer verticalen Ruhelage verharrt. Ueber diesen Punkt hinaus nach dem Umfange der Scheibe zu wird die Nadel gleichsam vom Mittelpunkte abgestoßen. Die Wirkung der Scheibe behält diese Richtung ebenfalls für die außerhalb ihr liegenden Punkte bei, über welche die Nadel gestellt wird. — Das Verhältniß dieser drei Kräfte zu einander ändert sich mit der Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe.

### 3. Erklärung des Rotationsmagnetismus.

Die oben besprochenen Erscheinungen, welche gewöhnlich mit dem Namen Rotationsmagnetismus bezeichnet werden, gehören, wie man bald sieht, zu der Klasse der magneto-elektrischen. Zunächst läge uns also ob,

das wirkliche Dasein inducirter Ströme auf einer in der Nähe eines Magnets rotirenden Kupferscheibe auf dem Wege des Experiments nachzuweisen, was Faraday auf folgende Weise dargethan hat. Er brachte eine um eine horizontale Achse bewegliche Kupferscheibe zwischen die beiden Pole eines Hufeisenmagnets und verband den amalgamirten Rand der Kupferscheibe und die metallene Achse derselben mit einem Multiplicator. — Wird die Scheibe gedreht, so zeigt die Nadel eine bleibende Ablenkung. Aendert man die Richtung der Rotation, so weicht die Nadel nach der entgegengesetzten Seite ab. Dasselbe erfolgt, wenn man die Pole des Magnets verwechselt, aber die Richtung der Rotation beibehält. — Wenn man die Scheibe nur einem Magnetpole gegenüber stellt, zeigen sich die nämlichen Wirkungen, nur in einem etwas geringeren Grade. — Die Ablenkung fällt ebenfalls viel schwächer aus, wenn die beiden Magnetpole nahe am Centrum sich befinden.

Rotirt die Scheibe horizontal und wie der Zeiger einer Uhr und befindet sich über ihrem Rande ein Nordpol oder unter demselben ein Südpol, so geht der Strom vom Centrum zur Peripherie: d. h. eine Kupferplatte am Rande, eine Zinkplatte im Centrum und die Flüssigkeit zwischen beiden lenkt die Galvanometernadel nach derselben Seite hin ab. — Wenn der Multiplicator ausgeschaltet ist, können die Inductionsströme nicht mehr durch denselben gehen: sie müssen dann auf der Fläche der Scheibe ihren Weg vollenden. Die in der Nachbarschaft des Mittelpunkts der Polfläche fließenden Inductionsströme haben die größte Intensität. Von dieser Lage aus nimmt die Intensität der Ströme nach beiden Seiten hin zu ab und zwar um so mehr, je weiter sie von dem Mittelpunkte der Polfläche abliegen.

Bei einer rotirenden Metallscheibe, über welcher sich eine horizontal schwebende Magnetnadel befindet, hat man es mit der gleichzeitigen Wirkung zweier Magnetpole zu thun. Die beim Nordpole entstehenden Ströme gehen vom Mittelpunkte zur Peripherie, während die beim Südpole erzeugten von der Peripherie zum Mittelpunkte fließen. Es entsteht mithin durch die vereinte Wirkung beider Pole ein Strom, dessen Richtung mit dem Durchmesser der Scheibe zusammenfällt, welcher unmittelbar unter den Polen der Magnetnadel liegt. Erwägen wir aber, daß zur Entwickelung der Induction eine gewisse Zeit erforderlich ist, so sehen wir ein, daß die Linie der größten Wirkung mit der Achse der Magnetnadel einen Winkel bildet, welcher um so größer wird, je bedeutender die Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe ist. — Auf diese Weise geschieht es denn, daß die Resultante aller Ströme auf jeden Magnetpol eine gegen die Oberfläche der Scheibe geneigte Lage hat. Sie kann daher in zwei Kräfte zerlegt werden, von denen die eine parallel, die andere senkrecht zur Ober-

fläche der Scheibe ist. Die erstere ist die tangentielle Kraft, welche der Nadel ihre Drehung ertheilt; die zweite ist der vertical aufwärts wirkende Theil jener Kraft, welcher den Magnetpol abstößt. — Der Sinn der Inductionsströme ändert sich nicht blos mit der Natur des Magnetpols und mit dem Sinne der Rotation der Scheibe, sondern auch mit der Lage des Magnetpols. Liegt der Pol nahe am Centrum, so wird er zu demselben hingezogen, dagegen von demselben abgestoßen, wenn er nahe am Umfange liegt. Daraus erklärlich, wie Arago unter Anwendung einer Inclinationsbussole die dritte Seitenkraft finden mußte, welche nach dem Halbmesser von dem Mittelpunkte nach dem Umfange oder umgekehrt gerichtet ist, je nach der Lage des Poles der Nadel auf dem Halbmesser.

Doch nicht blos durch rotirende Bewegungen runder Metallplatten, sondern auch durch fortschreitende Bewegungen rechtwinkliger Metallplatten in der Nähe der Pole eines Elektromagnets lassen sich dergleichen Inductionsströme hervorrufen, wie Faraday gezeigt hat. Man denke sich nämlich den Nordpol eines Elektromagnets unterhalb einer rechtwinkligen Metallplatte, an deren jeder vier Seitenkanten ein kleiner Metallcylinder angebracht ist, in welchen der Rand der Metallplatte paßt. Die Einschnitte wie die Ränder der Platte sind amalgamirt, um eine möglichst vollständige Berührung herzustellen. — Bei der Bewegung der Platte in der Richtung ihrer Länge befestige man die zwei in den Längenkanten angebrachten Cylinder so, daß sie der Bewegung der Platte nicht folgen können, sondern ihre anfängliche Stellung zu dem Pole des Magnets beibehalten. Zugleich verbinde man die beiden unbeweglichen Cylinder mit den Enden eines Galvanometers. Dasselbe zeigt, während die Platte oberhalb des Magnetpols hinweg zwischen jenen Cylindern vorübergleitet, einen von einem derselben nach dem andern fließenden Inductionsstrom an, dessen Richtung sich ändert, wenn die Bewegung der Platte im entgegengesetzten Sinne geschieht. Die Nadel des Galvanometers gibt keinen Ausschlag, wenn man es mit den beiden andern Cylindern in Verbindung bringt. — Bei der Bewegung der Platte in der Richtung ihrer Breite befestige man die zwei in den Breitenkanten angebrachten Cylinder, während die zwei andern Cylinder jetzt frei bleiben. Wenn das Galvanometer mit den unbeweglichen Cylindern in Verbindung steht, gibt es wieder einen zwischen denselben fließenden Inductionsstrom zu erkennen, dessen Richtung abermals mit der der Bewegung sich ändert. Auch hier erhält man keinen Ausschlag, wenn man das Galvanometer mit den zwei beweglichen Cylindern verbindet. — Die Ströme fließen in der umgekehrten Richtung, wenn man statt des Nordpols einen Südpol unterhalb der Platte aufstellt. Deßgleichen kehren sich die Ströme um, wenn man den Nordpol nicht unterhalb, sondern oberhalb der Platte anbringt. — Daraus zugleich er-

klärlich, weßhalb die Inductionsströme eine größere Intensität erhalten, wenn die Platte zwischen zwei ungleichnamigen Polen gleitet.

## 4. Anderweitige hierher gehörige Versuche.

Herschel kehrte Arago's Versuche um, indem er einem starken hufeisenförmigen Magnet eine schnelle Bewegung ertheilte, über demselben Stücke von Metallen und anderen Stoffen aufhing und bemerkte, wie weit sie dem Magnete folgten. Er erhielt deutliche Zeichen von Magnetismus an Platten von Kupfer, Zink, Silber, Blei, Gold, Wismuth. Andere Substanzen, wie Harz, Glas und alle die Elektricität nur wenig leitenden Stoffe geben keine Spur einer magnetischen Wirkung. — Um die Größe der Einwirkung dieser Substanzen verhältnißmäßig in Zahlenwerthen ausdrücken zu können, beobachtete Herschel die Größe der Ablenkung der Magnetnadel, wenn sie sich in einerlei Abstand von verschiedenen in einerlei Form gegossenen gedrehten Platten befand. Auch diese Versuche zeigten, daß die Größe der inducirenden Wirkung der Leitungsfähigkeit der Metalle proportional ist.

Bei Wiederholung des Arago'schen Versuches, bei dem eine Eisenplatte zwischen die Magnetnadel und die Kupferscheibe gelegt wurde, ergab sich, daß dadurch die Einwirkung des Kupfers gänzlich aufgehoben werde. Ein Schirm aus Kupfer oder Zink, der zwischen die Magnetnadel und die gedrehte Scheibe gestellt wurde, verminderte ihre Wirkung, ohne sie gänzlich aufzuheben. Ein Schirm von Glas oder Papier blieb ohne Einfluß. War der metallene Schirm mit einer Oeffnung versehen, deren Durchmesser der Länge der Magnetnadel gleich kam, so war sein Effect beinahe derselbe. — Wurden zwei kleine ähnliche Magnete an den Enden eines kleinen horizontalen Hebels befestigt, so daß die gleichnamigen Pole einerlei Lage hatten; so drehte sich dieses System über einer rotirenden Scheibe in demselben Sinne wie die Scheibe. Wurde aber einer dieser Magnete umgekehrt, so hörte alle Wirkung auf.

Interessant ist noch ein von Stürgern angestellter Versuch. Eine dünne Kupferscheibe wurde sehr leicht beweglich an einer Achse befestigt und an einem Punkte ihres Umfanges ein kleines Gewicht angebracht, um ihr eine Neigung zum Oscilliren beizubringen. Der schwerere Theil wurde in die Höhe gehoben und losgelassen, worauf die Anzahl der Schwingungen gezählt wurde, bis sie wieder in Ruhe kam. Alsdann wurde derselbe Versuch wiederholt, während sich der schwerere Theil zwischen den Polen eines hufeisenförmig gebogenen Magnets befand. Im letzteren Falle war die Anzahl der Schwingungen wenigstens um die Hälfte größer als im vorhergehenden. Dieser Versuch ist der umgekehrte von dem, welchen Arago anstellte. — Wendete man statt des hufeisenförmig gebogenen Mag-

nets zwei Magnetstäbe mit ihren entgegengesetzten Polen an, so war die Wirkung dieselbe; dagegen bemerkte man keinen Effect, wenn gleichnamige Pole gebraucht wurden. Daraus geht hervor, daß die Einwirkung auf die Magnetnadel nicht von einer Art Widerstand eines Mittels abhängt.

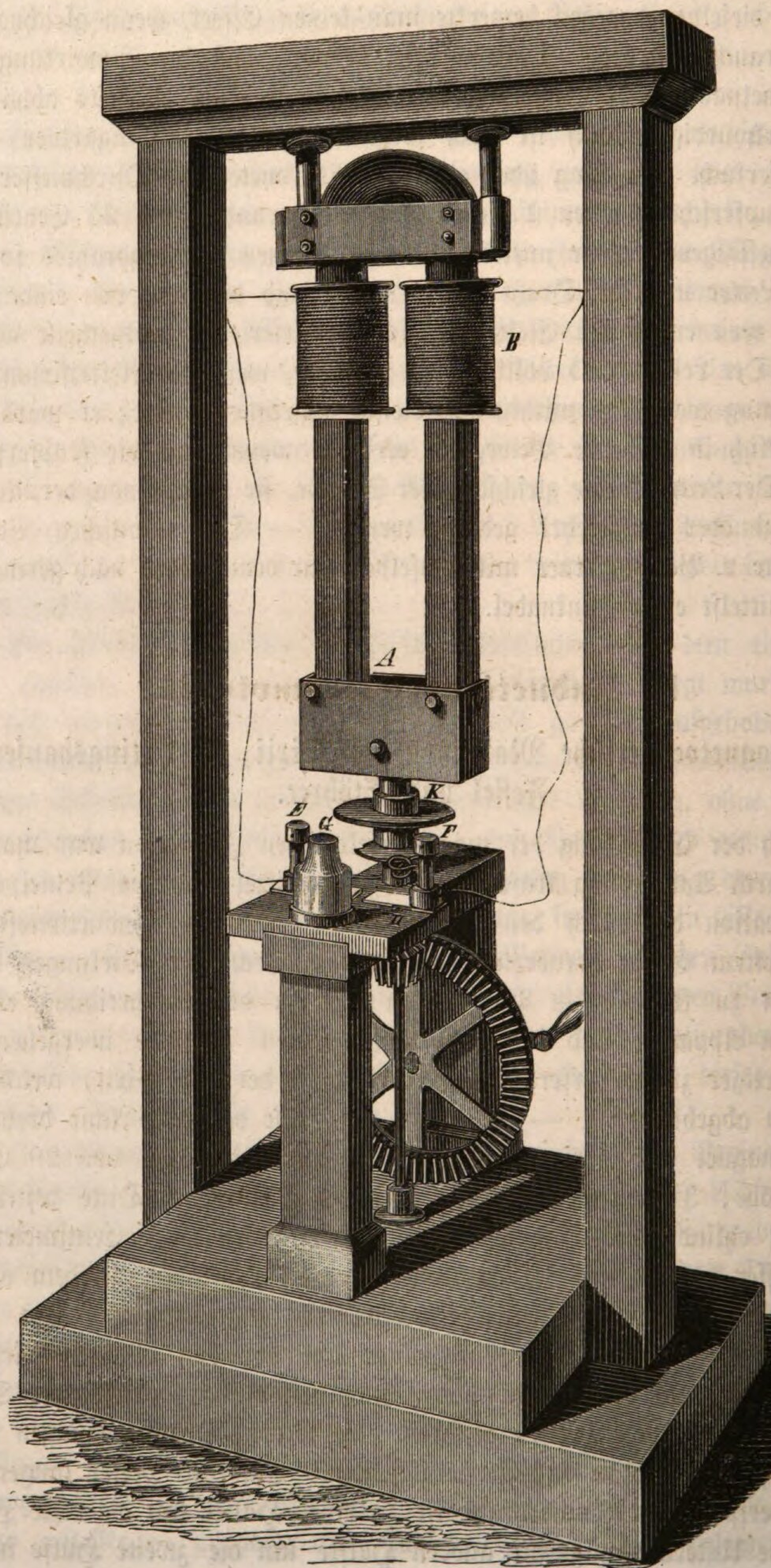
Merkwürdig endlich ist noch folgender von v. Baumgartner angestellter Versuch. Er hing über einer 50 Centimeter im Durchmesser haltenden Kupferscheibe einen 2 Centimeter dicken runden und 25 Centimeter langen messingenen Leiter mittelst eines sehr feinen Messingdrahtes so auf, daß der Leiter und der Draht isolirt waren und letzterem von einer etwa 3 Meter weit entfernten Elektrisirmaschine Elektricität mitgetheilt werden konnte. Der Leiter blieb vollkommen in Ruhe, wenn die Elektrisirmaschine in Bewegung war, ihm mithin Elektricität zugeführt wurde; er ward aber augenblicklich in drehende Bewegung versetzt, wenn man die Kupferplatte drehte. Der Leiter folgte gleichsam der Scheibe, sie mochte von der Rechten zur Linken oder umgekehrt gedreht werden. — Den nämlichen Versuch wiederholte v. Baumgartner mit demselben nur dem Grade nach geringeren Erfolg mittelst einer Zinknadel.

## IV. Inductionselektromotoren.

### 1. Magnetoelektrische Maschinen von Pixii, v. Ettingshausen, Fessel und Stöhrer.

Nach der Entdeckung der magnetoelektrischen Induction war man bemüht, durch Anwendung kräftiger Erregungsmittel und des Princips der Multiplication die durch den Magnetismus erzeugten Inductionsströme in verstärktem Grade hervorzubringen, um dadurch ihre Wirkungen besser beobachten zu können. — Wir wollen jetzt zu der Beschreibung einiger dergleichen Apparate und der damit angestellten Versuche übergehen. — Ein derartiger zuerst verfertigter Apparat ist der von Pixii, welcher in Figur 90 abgebildet ist. — A ist ein um seine verticale Achse drehbarer Hufeisenmagnet aus drei übereinander liegenden Lamellen von 29 Centimeter Höhe, 3 Centimeter Breite und 14 Millimeter Dicke bestehend; B ist ein cylindrisches Hufeisen von weichem Eisen, 4,8 Centimeter im Durchmesser haltend mit 18 Centimeter langen Schenkeln, an dem oberen Theil eines starken Holzgestells unbeweglich angeschraubt. Um jeden Schenkel des Hufeisens B ist ein hohler Cylinder von dünnem Messingblech mit zwei am obern und untern Ende befindlichen vorstehenden Scheiben geschoben. Diese Hülsen gestatten eine Menge Drahtwindungen übereinander zu legen, ohne daß sie herabgleiten. Ein 800 Meter langer mit Seide übersponnener Kupferdraht ist zu einer Hälfte um die erste Hülse, dann ohne Unterbrechung zur andern Hälfte um die zweite Hülse in der

Fig. 90.



nämlichen Richtung gewickelt, während die zwei äußersten Enden des Drahtes frei oder der besseren Leitung wegen amalgamirt sind. — Wenn nun der bewegliche Magnet A um seine verticale Achse gedreht wird, was mittels eines Getriebes und konischen Rades durch eine Kurbel auf horizontaler Achse geschieht; so gleiten seine Schenkel sehr nahe unter den Endflächen des Eisenkernes B hin und rufen in diesem den Magnetismus hervor, welcher in dem umgewundenen Kupferdraht Inductionsströme erzeugt, die bei jeder halben Umdrehung ihre Richtung ändern.

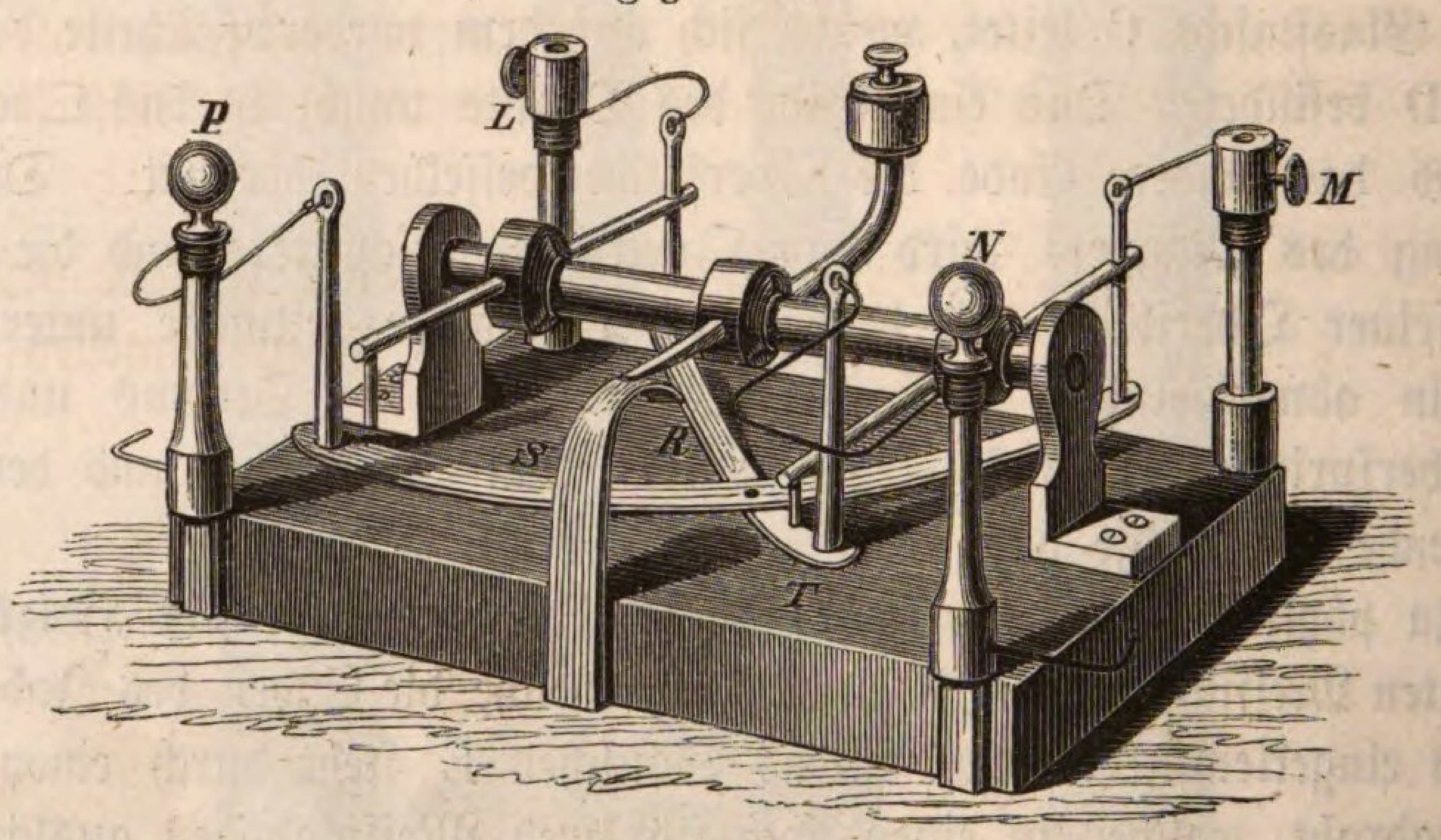
Um den elektrischen Funken zu erhalten, braucht man blos die beiden freien Enden des umsponnenen Kupferdrahtes abwechselnd mit einander in Berührung zu bringen und dann rasch wieder von einander zu entfernen. Noch besser zeigen sich die Funken, wenn man die Enden des Inductionsdrahtes durch den Stöpsel einer zur Hälfte mit Quecksilber gefüllten kleinen Glasflasche C leitet, welche sich auf dem vorderen Theile der Holzplatte D befindet. Das eine Ende des Drahts taucht in das Quecksilber, während das andere Ende die Oberfläche desselben berührt. Durch die Drehung des Magnets wird das Quecksilber erschüttert und die Berührung seiner Oberfläche mit dem einen Drahtende zeitweise unterbrochen, was ein abwechselndes Oeffnen und Schließen des Stroms und damit ein Ueberspringen eines Funkens zwischen dem Quecksilber und dem einen Drahtende zur Folge hat.

Zu physiologischen Versuchen dienen die zwei auf der Holzplatte D befestigten Messingsäulchen E und F, in welche die Enden des Inductionsdrahtes eingeklemmt werden. Das Säulchen E steht durch einen starken Messingdraht, welcher in einen noch stärkeren Messingbogen ausläuft, mit der Achse des Magnets fortwährend in leitender Verbindung. Von dem Säulchen F dagegen geht eine starke Messingfeder nach der auf der Achse des Magnets befestigten Messingscheibe G, deren Rand vier gleich weite Einschnitte hat. Diese Scheibe ist dazu bestimmt, den Strom im Schließungsbogen zu unterbrechen. So lange nämlich die Feder auf dem vollen Theile des Randes gleitet, ist der Kreis der Leitung geschlossen, dagegen ist derselbe unterbrochen, wenn die Feder über einen Ausschnitt des Randes weggeht. Der Strom kann alsdann durch einen andern zwischen den Säulen E und F eingeschalteten Schließungsbogen fließen. Da die Scheibe vier Einschnitte hat, so circulirt der Strom während einer Umdrehung des Magnets viermal durch jenen zweiten eingeschalteten Schließungsbogen. Bildet der menschliche Körper diesen Schließungsbogen, so spürt man Erstarrung der Finger, wenn man zwei befeuchtete Finger auf die an den Säulchen E und F angebrachten Messingplatten legt. — Die Feder muß über einen Ausschnitt des Randes genau in dem Momente gleiten, in welchem der Magnet A sich unterhalb der Endflächen des Eisenkernes B

befindet. Mittelst einer unter der Holzplatte D angebrachten Schraube läßt sich die erforderliche Stellung fixiren. — Schraubt man in die Säulchen E und F die Leitungsdrähte zweier metallenen Handhaben fest, so empfindet man bei der Anfassung der Handhaben mit befeuchteten Händen starke Erschütterungen, wenn der Apparat in Bewegung gesetzt wird.

Will man Wasser durch den magnetoelektrischen Strom zersetzen, so schaltet man zwischen den Enden des Inductionsdrahtes ein Voltameter mit angesäuertem Wasser ein. Da der Strom bei jedem halben Umlauf des Magnets seine Richtung umkehrt, so erhält man in jeder Glasröhre des Voltameters nur ein Gemenge von Wasserstoff und Sauerstoff. — Um diese Gase getrennt zu bekommen, hat Pixii seinem Apparat den von Ampère erdachten und in Figur 90 a. gezeichneten Commutator hinzugefügt,

Fig. 90 a.

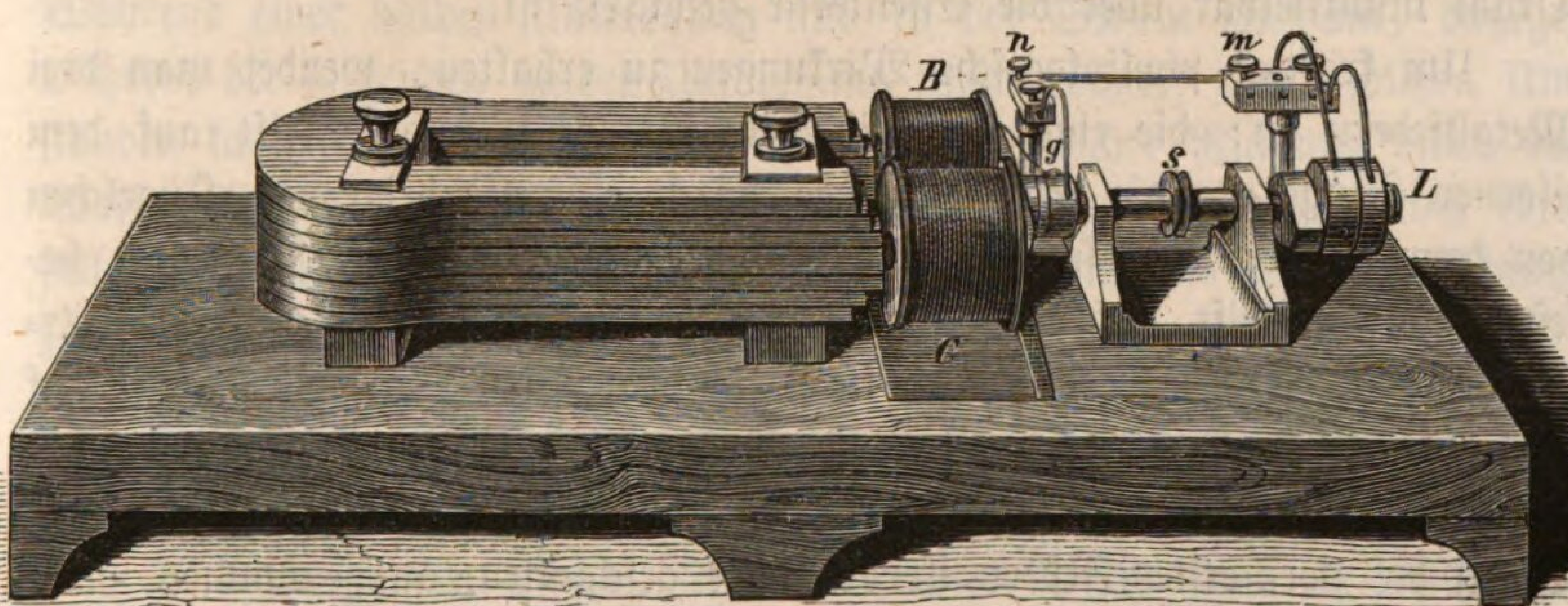



durch welchen die Ströme ihres steten Wechsels ungeachtet in einerlei Richtung durch das Wasser sich führen lassen, das man ihrer Action aussetzen will. Die verschiedenen Bestandtheile dieses Commutators sind sämmtlich auf einer Holzplatte T festgemacht, welche an die Stelle der Holzplatte D aufgeschraubt werden kann. Auf zwei Messingständern ruht um seine horizontale Achse drehbar ein Holzcylinder, in den drei Messingstäbe quer durchgesteckt sind. Der mittlere Stab trägt einen mit Leder umwickelten kleinen Messingcylinder, auf den ein an der Achse des Magnets befestigter Halbkreis K drückt. Dieser Halbkreis hält während einer halben Umdrehung des Magnets die durch den Holzcylinder gesteckten von dem Magnet abstehenden Theile der drei Metallstäbe nach einer Seite nieder, dagegen werden während der nächsten halben Umdrehung durch eine an dem mittleren Messingstab anlehnende Messingfeder die dem Magnet anliegenden Theile jener drei Metallstäbe niedergedrückt. Von den beiden äußeren Messingstäben steht der eine mit dem Messingsäulchen L und der andere mit dem Messingsäulchen M in leitender Verbindung, in

welche Säulchen zugleich die Enden des Inductionsdrahtes eingeklemmt werden. Die vier metallenen Ansatzstücke jener zwei Messingstäbe berühren successive die verschiedenen Enden des Systems der zwei sich durchkreuzenden aber von einander isolirten Kupferstreifen R und S, je nachdem bei jeder halben Umdrehung die Messingstäbe nach dem einen oder andern Sinne geneigt werden. Die Kupferstreifen sind endlich mit den zwei Messingständern P und N leitend verbunden, in welche die nach den Glasröhren des Voltameters gehenden Leitungsdrähte befestigt sind. Die Kupferstreifen sind an den Berührungsstellen, sowie die Ansatzstücke der Metallstäbe amalgamirt, damit durch die Berührungen die Communication um so vollkommener hergestellt wird. Mittelst dieser sinnreichen Einrichtung fließt der Strom in den nach den Glasröhren des Voltameters führenden Drähten in demselben Sinne, obschon er in dem Inductionsdrahte successive seine Richtung ändert. Dadurch geschieht es denn, daß sich in der einen Glasröhre blos Sauerstoff, in der andern blos Wasserstoff entwickelt.

Figur 91 stellt eine nach v. **Ettingshausen's** Angabe verfertigte **Magnetoinductionsmaschine** dar. Der aus sieben Lamellen zusam-

Fig. 91.




mengesetzte hufeisenförmige Stahlmagnet liegt horizontal auf einem Tischchen und wird so weit vorwärts geschoben, daß die Pole der Magnetbatterie vor den beiden Enden der Eisenkerne der Inductionsspiralen B und C in möglichster Nähe vorübergehen. Das eine Ende der Drahtwindung ist an einem eisernen Ringe g angeschraubt, der durch einen isolirenden Ring von Elfenbein von der eisernen Umdrehungsachse getrennt ist. Das andere Drahtende ist auf der eisernen Platte aufgeschraubt, welche die beiden Eisenkerne trägt: dieses Drahtende steht demnach mit der eisernen Umdrehungsachse in leitender Verbindung. — Auf der eisernen Achse ist ein cylindrischer Eisenkörper L befestigt, an welchem drei neben einander befindliche Theile zu unterscheiden sind. An dem untern Theile

ist ein Ausschnitt angebracht, welcher die Hälfte des Umfanges hinwegnimmt; an dem mittleren Theile befinden sich zwei mit Elfenbein ausgefütterte runde Stellen, die einander diametral gegenüber stehen; nur der obere Theil bildet einen ununterbrochenen cylindrischen Umfang. Zwei messingene Pfeiler m und n mit mehreren Löchern versehen, in welche metallische Federn eingeschraubt werden können, dienen zur Schließung der Kette und Leitung des Stromes. — Die Umdrehung der eisernen Achse wird mit Hülfe einer größern Scheibe bewerkstelligt, welche durch einen Schnurlauf mit der auf der Achse sitzenden Scheibe s verbunden ist. Durch ein auf den Magneten aufgesetztes Eisenstück, welches die beiden Schenkel als Anker verbindet, läßt sich der Magnetismus und dadurch der in den Rollen erregte Inductionsstrom nach Belieben schwächen oder verstärken, je nachdem man diesen Anker den vordern Polflächen nähert oder ihn davon entfernt. — Zur Erzeugung physiologischer Wirkungen bedarf man einer aus sehr vielen Windungen eines dünnen Drahtes gebildeten Spirale, welche Intensitätsspirale heißt; zu andern Versuchen nimmt man eine Spirale aus wenigen Windungen eines dicken Drahts, welche Quantitätsspirale genannt wird. Bei der Intensitätsspirale ist der Draht auf hölzerne Spulen aufgewunden, während bei der Quantitätsspirale der Draht unmittelbar über die Eisenkerne gewickelt ist.

Um kräftige physiologische Wirkungen zu erhalten, wendet man drei Metallfedern an: die eine steckt in dem Pfeiler n und schleift auf dem eisernen Ringe g; die zweite, welche durch ein elfenbeinernes Kügelchen von dem Pfeiler m geschieden wird, ist ebenfalls in dem Pfeiler n befestigt und schleift auf dem mittleren Theile des cylindrischen Eisenkörpers L; die dritte Feder endlich steckt in dem Pfeiler m und schleift auf dem oberen Theile von L. Zwei Conductoren, deren jeder mit einem der Pfeiler metallisch verbunden ist, werden mit befeuchteten Händen gefaßt. Durch die zwei ersten Federn ist die Kette geschlossen, ausgenommen wenn die zweite Feder über Elfenbein hinweggleitet; in diesem Augenblicke tritt der Strom vermittelst der dritten Feder zum Pfeiler m und von da durch den eingeschalteten Körper zum Pfeiler n. Je rascher gedreht wird, desto schneller folgen die Schläge auf einander, was die Wirkung verstärkt.

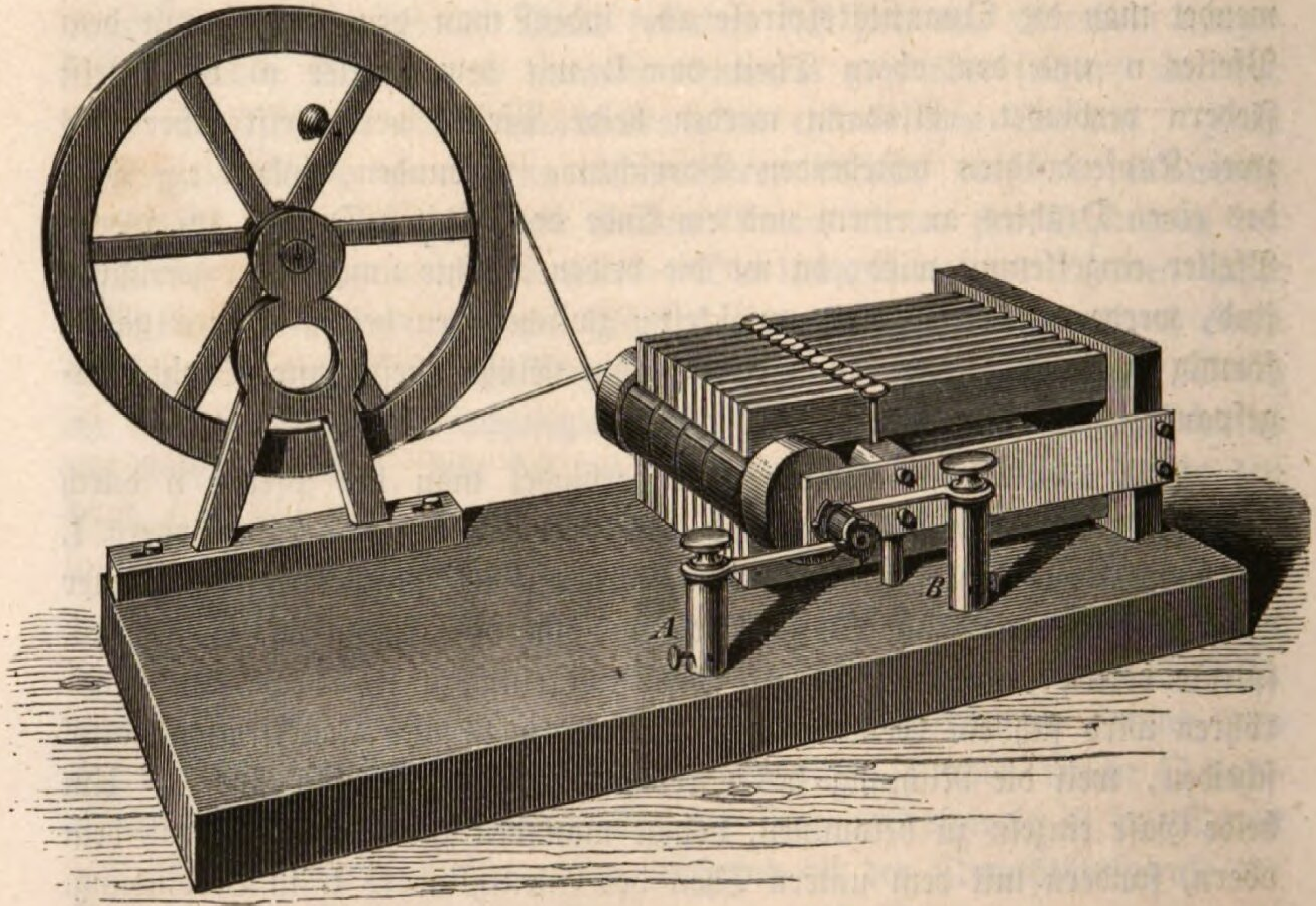
Um Funken zu erzeugen, befestigt man an dem Pfeiler m eine Stahlfeder, die über dem mittleren Theile von L schleift, und am Pfeiler n eine Feder, welche auf dem Ringe g gleitet, indem man beide Pfeiler durch einen Draht verbindet. Während der Drehung entstehen jedesmal Funken, wenn die Stahlfeder über Elfenbein geht, also der Strom unterbrochen wird. — Funken zeigen sich auch, wenn man die über dem mittleren Theile von L schleifende Feder wegnimmt und dafür in dem Pfeiler m eine Feder einschraubt, welche gegen die rauhe Seite des Eisenstücks L

drückt. — Will man kurze und dünne Metalldrähte glühend machen, so wendet man die Quantitätsspirale an, indem man den Ring g mit dem Pfeiler n und den obern Theil von L mit dem Pfeiler m vermittelst Federn verbindet. Alsdann werden beide Pfeiler vermittelst einer aus zwei Kupferdrähten bestehenden Vorrichtung verbunden, indem ein Ende des einen Drahtes an einem und ein Ende des zweiten Drahts am andern Pfeiler eingeklemmt wird; da wo die beiden Drähte umeinander gewunden sind, werden sie mit Seide umwickelt; zwischen den beiden andern gabelförmig auslaufenden Enden wird der zum Glühen bestimmte Draht ausgespannt.

Will man Wasser zersetzen, so verbindet man den Pfeiler n durch eine Feder mit dem Ringe g und den obern Theil des Eisenkörpers L durch eine Feder mit dem Pfeiler m, ferner führt man von jedem Pfeiler einen Leitungsdraht zum Wasserzersetzungsapparat. Wenn die Inductionsspirale rotirt, findet eine lebhafte Gasentwickelung statt. In beiden Glasröhren wird sich ein Gemenge von Wasserstoffgas und Sauerstoffgas ausscheiden, weil die Richtung des Stromes sich fortwährend ändert. Um beide Gase einzeln zu bekommen, bringt man den Pfeiler m nicht mit dem obern, sondern mit dem untern Theil des Eisencylinders L in Verbindung. Während einer halben Umdrehung nur ist der Strom wirksam, dagegen während der folgenden halben Umdrehung unterbrochen; unter solchen Umständen kann daher der Strom immer nur in gleicher Richtung durch das Wasser fließen. — Zur Hervorbringung magnetischer Wirkungen muß ebenfalls dafür Sorge getragen werden, daß der Strom nur in einer Richtung zu circuliren vermag.

Unser von Fessel angefertigter magnetoelektrischer Rotationsapparat, der in Figur 92 abgebildet ist, besteht aus 24 Stahlmagneten von 20,7 Centimeter Länge, 2,9 Centimeter Breite und 7 Millimeter Dicke. Zwölf von diesen Magneten sind mit einem Ende in einer 10,5 Centimeter hohen, 19,7 Centim. breiten und 1,9 Centim. dicken auf einem starken Brette feststehenden Eisenplatte befestigt, während sie in einiger Entfernung von dem andern Ende auf einer 1,2 Centimeter dicken Messingplatte liegend durch je zwei besondere Schraubenmuttern darauf fest gehalten werden. Auf diese Weise ragen denn jene zwölf in horizontaler Lage fest liegende Magnete mit ihren gebogenen Nordenden 5,5 Centimeter weit über der Messingplatte hervor. — Die nämliche Anordnung wird mit den zwölf anderen Stahlmagneten befolgt, welche unten an der Eisenplatte festgemacht sind, mit ihren gebogenen Südenden aber hervortreten, so daß je zwei ungleichnamige Pole in einer Entfernung von 7 Cent. einander gegenüber zu stehen kommen. Zwischen den 24 Magnetpolen sind um

Fig. 92.



eine horizontale eiserne Achse drehbar zwei Inductionsrollen, von denen jede um die Hälfte eines Eisenkernes sich windet, wobei zwei ihrer Enden so miteinander verbunden sind, daß beide in gleicher Richtung vom Strome durchflossen werden. Der Kern besteht aus einer dünnen Platte, deren Länge in die Richtung der Drehungsachse fällt, während an den beiden Längekanten der Platte senkrecht zu derselben stehende plattförmige Ansätze angebracht sind. Außerdem ist der Kern an beiden Enden an zwei Messingfassungen befestigt, an welchen die Zapfen der Drehungsachse eingelassen sind. Von den beiden andern Enden der Inductionsrollen steht das eine mit der eisernen Drehungsachse in leitender Verbindung, während das andere freie Ende durch die hohle eiserne Drehachse isolirt durchgeführt an dem vorderen Theile des Commutators festgemacht ist. Dieser Commutator ist hier ein kleiner Holzcylinder, welcher auf der eisernen Achse festsitzt und aus vier besonderen Metallstücken besteht. Das vordere Stück ist ein Ring von Neusilber, auf welchem vier gleich große allmählig an Dicke zunehmende Bogen von Eisen befestigt sind. Ganz von der nämlichen Beschaffenheit ist das hintere Stück; die zwei mittleren Stücke sind Halbcylinder von Neusilber, von denen der eine an das vordere und der andere an das hintere Stück angelöthet ist, ohne daß sie unter einander in leitender Verbindung stehen. Die beiden äußersten Stücke des Commutators bilden gleichsam die Pole der Kette, zwischen denen die der Ein-

wirkung des Inductionsstromes zu unterziehenden Körper eingeschaltet werden. — Mittelst eines Rades und einer auf der Drehungsachse angebrachten Scheibe, welche durch einen Schnurlauf verbunden werden, wird die Umdrehung bewerkstelligt, wodurch zwei Platten aus weichem Eisen bei ihrem Vorübergehen an den Polen der magnetischen Batterie magnetisch werden und in den geschlossenen Inductionsrollen einen elektrischen Strom von einer gewissen Richtung induciren.

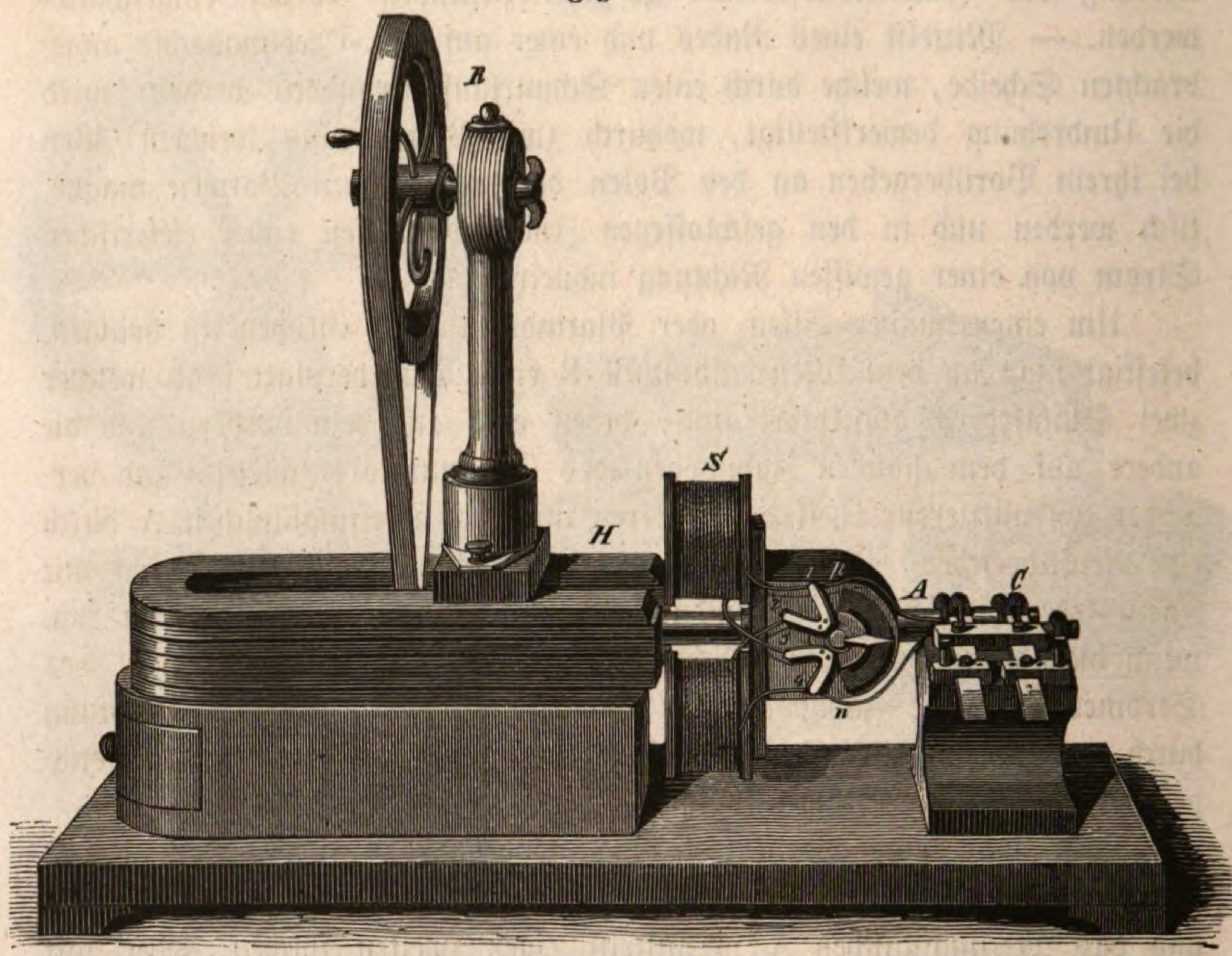
Um einen dünnen Eisen- oder Platindraht zum Glühen zu bringen, befestigt man an dem Messingsäulchen B eine Neusilberplatte, an welcher zwei Stahlfedern angelöthet sind, deren eine auf dem vordern und die andere auf dem hintern Zahnbogen des Commutators schleift, und verbindet den mittleren Theil des letzteren mit dem Messingsäulchen A durch eine Neusilberfeder. Alsdann wird der zum Glühen bestimmte Draht mit jenen Federn in leitende Verbindung gesetzt. Auf diese Weise bewegt sich, wenn die Inductionsrollen gedreht werden, bei jeder Unterbrechung des Stromes durch die Zahnbogen der Inductionsstrom in derselben Richtung durch den eingespannten Draht, welcher bei hinreichend schneller Rotationsgeschwindigkeit zum Glühen kommt.

Will man eine Wasserzersetzung vornehmen, so bringt man das Messingsäulchen B vermittelst einer Neusilberfeder mit dem einen Halbring und das Messingsäulchen A vermittelst einer zweiten solchen Feder mit dem andern Halbring des Commutators in leitende Verbindung, während man zugleich von jedem Säulchen einen Leitungsdraht zum Wasserzersetzungsapparat gehen läßt. Das Voltameter schließt den Kreis der Inductionsspiralen und das Wasser wird von einer Reihe gleichgerichteter Ströme durchflossen, was bewirkt, daß die beiden Gase sich getrennt in den beiden Glasröhren sammeln, wenn dem Rade eine schnelle Bewegung ertheilt wird.

Zur Hervorbringung physiologischer Effecte benutzt man ein System von drei Federn aus Neusilber, welches auf das Messingsäulchen A geschraubt wird. Die zwei äußersten dieser Federn sind mit den Zahnbogen des Commutators verbunden, dagegen die mittlere Feder den einen Halbring und die auf dem Säulchen B aufgeschraubte einfache Feder aus Neusilber den andern Halbring berührt. Dergestalt ist dann der Strom durch metallische Leitung gänzlich geschlossen und kann nicht durch die an dem Säulchen A und B befestigten Handhaben und den Körper des Beobachters fließen. Bei Unterbrechung des Stromes durch die gezahnten Bogen des Commutators wird aber der Strom veranlaßt, durch den eingeschalteten menschlichen Körper zu gehen.

Magnetoelektrische Maschinen in vorzüglicher Güte von verschiedener Größe und Stärke hat der rühmlichst bekannte Mechaniker Stöhrer zu

Fig. 93.




Dresden construirt; eine solche Maschine von mittlerer Größe stellt Figur 93 dar. Vor den Polen eines horizontal liegenden aus mehreren Lamellen zusammengesetzten Hufeisenmagnets H drehen sich zwei Inductionsspiralen S um eine zwischen den beiden Schenkeln desselben gehende eiserne Rotationsachse A, welche sich zwischen zwei mit Spitzen versehenen Stahlschrauben bewegt. Die Rotation um erwähnte Achse wird durch einen Treibriemen bewerkstelligt, welcher von einem größern oberhalb angebrachten eisernen Rad R über eine kleinere auf der Achse sitzende hölzerne Rolle geht. In der Höhlung jeder Spirale steckt ein Cylinder von weichem Eisen, deren jeder an einem mit der Achse fest verbundenen eisernen Querstücke befestigt ist. — An dem vorderen Theile der Rotationsachse befindet sich der Commutator C, welcher dazu dient, den während der Rotation der Spiralen erzeugten Inductionsstrom durch den zwischen den freien Drahtenden derselben eingeschalteten Körper zu leiten. Dieser Commutator besteht aus zwei übereinander befestigten Cylindern von Messing, auf deren beiden Enden zwei Stahlkämme aufgelöthet sind, welche Halbkreise bilden und sich genau gegenüber liegen. Eine isolirende Substanz trennt beide Cylinder von einander, deren einer durch den Kupferdraht p mit dem einen und anderer durch den Kupferdraht n mit dem andern Ende der beiden Drahtspiralen in Verbindung steht. — Zwei stählerne geschlitzte

Federn schleifen auf den Kämmen des Commutators dergestalt, daß bei jeder Umdrehung der Welle bald der innere, bald der äußere Cylinder mit jeder Schlitzfeder in Berührung kommt, also der Inductionsstrom durch den eingeschalteten Körper stets in gleicher Richtung hindurchgeht, obschon bei jeder halben Umdrehung ein Stromwechsel in den Inductionsspiralen stattfindet. — Man muß auch hier Sorge tragen, daß die Schlitzfedern von den Kämmen in dem Momente abgleiten und auf die folgenden übergehen, in welchem die Eisenkerne von den Polen des Magnets abreißen und der Strom zugleich seine Richtung ändert. Durch eine Verschiebung des Magnets läßt sich der Strom dämpfen. Für schwächere Wirkungen bleibt die Armatur des Magnets liegen: für eine stärkere Wirkung wird dieselbe auf die schmale Kante gestellt; bei gänzlicher Entfernung ergibt sich der stärkste Effect: Letzteres ist durch eine langsame seitwärts gerichtete Abziehung in der Stellung auf die schmale Kante zu bewerkstelligen.

Zwischen den Inductionsspiralen und dem Commutator ist auf der Rotationsachse ein sogenannter Pachytrop angebracht, eine Vorrichtung, welche gestattet, die Spiralen hintereinander oder nebeneinander zu verbinden, d. h. dieselben als Intensitätsinductor oder Quantitätsinductor zu benutzen. Der Pachytrop besteht hier aus einem abgeflachten Stück Holz, auf dessen einer Seite zunächst vier kleine Messingständer im Umfange eines Kreises befestigt sind und mit den Ziffern 1, 2, 3, 4 bezeichnet werden mögen. An 1 und 2 sind die gleichnamigen Drahtenden der beiden Drahtspiralen festgemacht, die beiden anderen Drahtenden bei 3 und 4. Wäre z. B. das von der Spirale rechts kommende Drahtende, welches in 1 befestigt ist, für einen bestimmten Moment positiv; so ist das Drahtende der Spirale links, welches in 2 befestigt ist, gleichfalls positiv. Das bei 3 festgemachte Drahtende führt zur rechten, das bei 4 befestigte Drahtende führt zur linken Spirale, welche beide Enden in dem ins Auge gefaßten Momente negativ sind. — In dem Mittelpunkte des Kreises, in dessen Umfange die vier kleinen Messingständer liegen, befindet sich eine um jenen Punkt drehbare Scheibe von Buchsbaumholz, welche zwei von einander isolirte Gabeln von Kupfer trägt. — Fallen die Zinken der Gabeln nicht auf die Messingständerchen, so sind die Spiralen nicht geschlossen: in diesem Falle erhält man bei Umdrehung der Rotationsachse keine Stromwirkung. — Die Holzscheibe werde so gedreht, daß 1 und 2 durch die eine Gabel, 3 und 4 durch die andere Gabel verbunden sind. Der Strom der Spirale rechts geht nach 1, der Strom der Spirale links über 2 ebenfalls nach 1, alsdann laufen beide Ströme durch den Draht p nach dem Commutator; späterhin gelangt der Strom durch den Draht n nach 4, von wo aus er theils zur linken, theils über 3 zur rechten Spirale geführt wird. Der durch den eingeschalteten Körper ge-

leitete Strom geht demnach zur Hälfte durch die eine, zur Hälfte durch die andere Spirale. Auf diese Weise wären dann die Spiralen gewissermaßen nebeneinander combinirt und als Quantitätsinductor verwendet. — Die Holzscheibe werde so gedreht, daß 2 und 3 durch eine Gabel leitend verbunden sind. Der durch den Draht n bei 4 eintretende Strom geht in die Spirale links, dann nachdem er dieselbe durchlaufen hat, über 2 durch die Gabel nach 3, um die Spirale rechts zu durchlaufen und dann über 1 durch p zum Commutator zu kommen. Die Drähte der Spiralen sind hiernach gleichsam hintereinander combinirt und als Intensitätsinductor verwerthet. — Auf solche Weise läßt sich dann für jeden speciellen Versuch der passendste Strom gewinnen.

Bei physiologischen Versuchen ist die hintereinanderlaufende Verbindung der Spiralen wirksamer als die nebeneinander laufende, letztere verursacht eine mehr stechende Empfindung, während erstere starke Erschütterungen gibt. — Zu chemischen Zersetzungen eignet sich besonders die hintereinanderlaufende Verbindung der Spiralen. — Bei dieser Verbindung entstehen lebhafte Funken, welche noch brillanter werden, wenn man die sich reibenden stählernen Federn und stählerne Kämme mit etwas Oel benetzt. Die Funken erscheinen dann in länglich abgerundeter Gestalt, deren Mittelpunkt gelblichweiß mit einem röthlichen Saum umgeben ist. — Ein Verbrennen der sich abreibenden Stahltheilchen findet hier noch nicht statt, tritt aber sogleich ein, wenn man die Spiralen hintereinander mit dem Commutator verbindet.

Läßt man den bei hintereinander laufender Verbindung der Spiralen entstehenden Inductionsstrom durch einen mit Seide überspponnenen um ein weiches Eisen schraubenförmig herumgewundenen Leitungsdraht gehen, so wird dasselbe magnetisch. — Will man einen kurzen und dünnen eingeschalteten Platindraht zum Glühen bringen, so ersetzt man die äußerste Schlitzfeder durch eine einarmige Feder und benutzt die beiden Spiralen als Quantitätsinductor, d. h. man verbindet dieselben nebeneinander. Der Strom behält hier die nämliche Richtung bei, bleibt aber längere Zeit unterbrochen als bei Anwendung von zwei geschlitzten Federn. Der Draht kommt nicht so leicht ins Glühen, wenn die Spiralen hintereinander verbunden werden, was vorauszusehen war: denn der magnetoelektrische Strom verhält sich wie der galvanische, mithin ist zur Hervorbringung von Wärmewirkungen der Quantitätsinductor dem Intensitätsinductor vorzuziehen.

## 2. Ueber die Wirksamkeit magnetoelektrischer Maschinen.

Die Frage, von welcher Art man die Spiralen bei einer magnetoelektrischen Maschine zu wählen habe, um die möglich stärkste Wirkung

hervorzubringen, läßt sich mit Hülfe ähnlicher Formeln beantworten, welche früher über die günstigste Gestalt der Spiralen beim Magnetisiren durch den dieselben circulirenden Strom aufgestellt worden sind. — Es sei a der Durchmesser der beiden Eisenkerne, welche in mehreren Lagen mit Drahtwindungen umwickelt werden sollen, u die Dicke des Drahts; die Länge einer Windung der ersten Lage ist dann $= (a + u)\pi$, jene der zweiten $= (a + 3u)\pi$ und die der n ten Lage $= (a + (2n - 1)u)\pi$. Hat der Eisenkern, soweit er umwickelt werden soll, die Länge b, so kommen auf denselben $\frac{b}{u}$ Windungen; mithin die Länge sämmtlicher Windungen der ersten Lage $= \frac{b\pi}{u}(a + u)$, jene der zweiten $= \frac{b\pi}{u}(a + 3u)$, die der n ten gleich $\frac{b\pi}{u}(a + (2n - 1)u)$. Folglich die ganze auf dem Cylinder aufgewundene Drahtlänge

$$\lambda = \frac{b\pi}{u}(na + u + 3u \ldots. + (2n - 1)u) = \frac{nb\pi}{u}(a + nu).$$

Sollen sämmtliche Windungen die Dicke c haben, so ist $n = \frac{c}{u}$, daher $\lambda = \frac{bc\pi}{u^2}(a + c)$. Nun ist der Leitungswiderstand l des Drahtes gleich $\frac{\lambda k}{u^2}$, wo k den specifischen Leitungswiderstand derselben bezeichnet, oder $l = \frac{kbc\pi}{u^4}(a + c)$. Ist $\varepsilon$ die inducirende Kraft in einer Windung der Spirale, E jene aller Windungen eines Cylinders, so hat man $E = \varepsilon \frac{c}{u} \cdot \frac{b}{u}$, weil diese Kraft der Zahl der Windungen proportional ist und $\frac{b}{u}$ die neben einander und $\frac{c}{u}$ die über einander befindliche Anzahl derselben bezeichnet.

Durchläuft der inducirte Strom eine Spirale nach der andern, so bekommt man für die Stromstärke P, wenn l′ den Widerstand des Stromes im Leiter außer den Windungen darstellt, den Ausdruck:

$$P = \frac{2E}{2l + l'} = \frac{2\varepsilon cb}{\frac{2kbc\pi(a + c) + l'u^2}{u^2}}.$$

Derselbe wird offenbar am größten, wenn der Nenner des Bruches am kleinsten ausfällt. Es ist dies der Fall für $u^4 = \frac{2kbc(a + c)\pi}{l'}$. — Theilt sich der inducirte Strom von der einen Spirale aus, in welcher er erzeugt worden, in zwei Theile, wovon ein Theil die Windungen der andern Spirale, der zweite Theil den Leiter durchströmt, worauf beide sich wieder vereinigen; so hat man, wenn l den Widerstand in der Spirale

darstellt, in welcher der Strom erregt worden, und l' den Widerstand in dem Leiter, den er nebst der Spirale durchläuft, für den Widerstand im andern Arme der Schließung, den der Strom durchfließt, den Ausdruck: $\frac{l\,l'}{l+l'}$. Hiernach ergibt sich für die Stromstärke P' folgende Formel: $P' = \frac{E}{\frac{u'}{l+l'}+l} = \frac{E(l+l')}{l(2\,l'+l)}$. Von diesem Strome geht durch den Leiter vom Widerstande l' ein Theil, der ausgedrückt wird durch $\frac{E(l+l')}{l(2\,l'+l)} \cdot \frac{l}{l+l'} = \frac{E}{2\,l'+l}$. Substituirt man für E und l die oben angegebenen Werthe, so erhält man für den durch einen Eisencylinder inducirten Strom im Leiter l' den Ausdruck

$$\tfrac{1}{2} P' = \frac{\varepsilon\, c\, b\, u^2}{k\, c\, b\, \pi (a+c) + 2\, l'\, u^4};$$

und für den ganzen Strom

$$P' = \frac{2\, c\, \varepsilon\, b\, u^2}{k\, b\, c\, \pi (a+c) + 2\, l'\, u^4}.$$

Dieser Werth wird am größten, wenn $u^2 = \frac{(a+c)\, c\, b\, k\, \pi}{2\, l'}$. — Aus den vorstehenden Ausdrücken geht hervor, daß die Dicke des Drahtes vom Durchmesser des Eisencylinders, von seiner Länge und von dem Raume abhängt, der durch die Spiralwindungen erfüllt werden kann. Zugleich ergibt sich daraus, daß der Draht desto dünner genommen werden muß, je schlechter der Stoff leitet, aus welchem er besteht.

Das physikalische Cabinet der hiesigen höheren Gewerbschule besitzt die vier oben beschriebenen magnetoelektrischen Maschinen von Pixii, v. Ettingshausen, Fessel und Stöhrer. Es war uns daher von Interesse, die Wirksamkeit jener vier Maschinen mit einander zu vergleichen. Folgendes Verfahren wurde zu diesem Behufe eingehalten, welches übrigens auf keine große Genauigkeit Anspruch macht. — Bei jeder der vier Maschinen wurden gleichgerichtete Ströme durch die hintereinander combinirten Inductionsspiralen und eine eingeschaltete Tangentenbussole geleitet und die entsprechenden Ablenkungen $\alpha$ der letzteren beobachtet. Hierauf wurde der Versuch wiederholt, nachdem ein längerer Draht in die Kette eingeschaltet worden und zwar in solcher Lage und in Entfernung, daß er auf den Stand der Tangentenbussole keinen Einfluß hatte, deren Ablenkung in solchem Falle durch $\beta$ bezeichnet werden mag. — Stellt nun E die galvanometrische Kraft der Maschine, w den Widerstand der Inductionsspiralen sammt dem der Tangentenbussole dar, ferner l den Widerstand des eingeschalteten Drahtes beim zweiten Versuche; so gibt uns das Ohm'sche Ge-

setz für jede Maschine folgende zwei Gleichungen: $\text{tang}\,\alpha = \frac{E}{w}$ und $\text{tang}\,\beta = \frac{E}{w+l}$. Daraus entspringt für den Werth von E folgender Ausdruck:

$$E = l \,.\, \frac{\text{tang}\,\alpha \,.\, \text{tang}\,\beta}{\text{tang}\,\alpha - \text{tang}\,\beta}.$$

Bei sämmtlichen Versuchen war man bemüht, stets dieselbe Rotationsgeschwindigkeit zu erhalten, weil die elektromotorische Kraft mit der Rotationsgeschwindigkeit, aber nicht in gleichem Verhältniß zunimmt, wie aus den angestellten Versuchen hervorgeht. — Die Resultate, welche wir auf diesem Wege mit unseren vier Maschinen erhalten haben, finden sich hier unten zusammengestellt.

I. Maschine von Pixii:

$$\alpha = 1{,}5^0; \quad \beta = 1{,}25^0; \quad l = 17\overset{m}{,}7744; \quad E = 7{,}9056.$$

II. Maschine von v. Ettingshausen:

$$\alpha = 2^0; \quad \beta = 1^0; \quad l = 17\overset{m}{,}7744; \quad E = 0{,}62031.$$

III. Maschine von Fessel:

$$\alpha = 4{,}5^0; \quad \beta = 3{,}5^0; \quad l = 17\overset{m}{,}7744; \quad E = 4{,}8782.$$

IV. Maschine von Stöhrer:

$$\alpha = 11^0; \quad \beta = 9^0\,50'; \quad l = 17\overset{m}{,}7744; \quad E = 28{,}45.$$

Hiernach verhielten sich die Wirksamkeiten der oben genannten Maschinen wie

7,90 : 0,62 : 4,88 : 28,45.

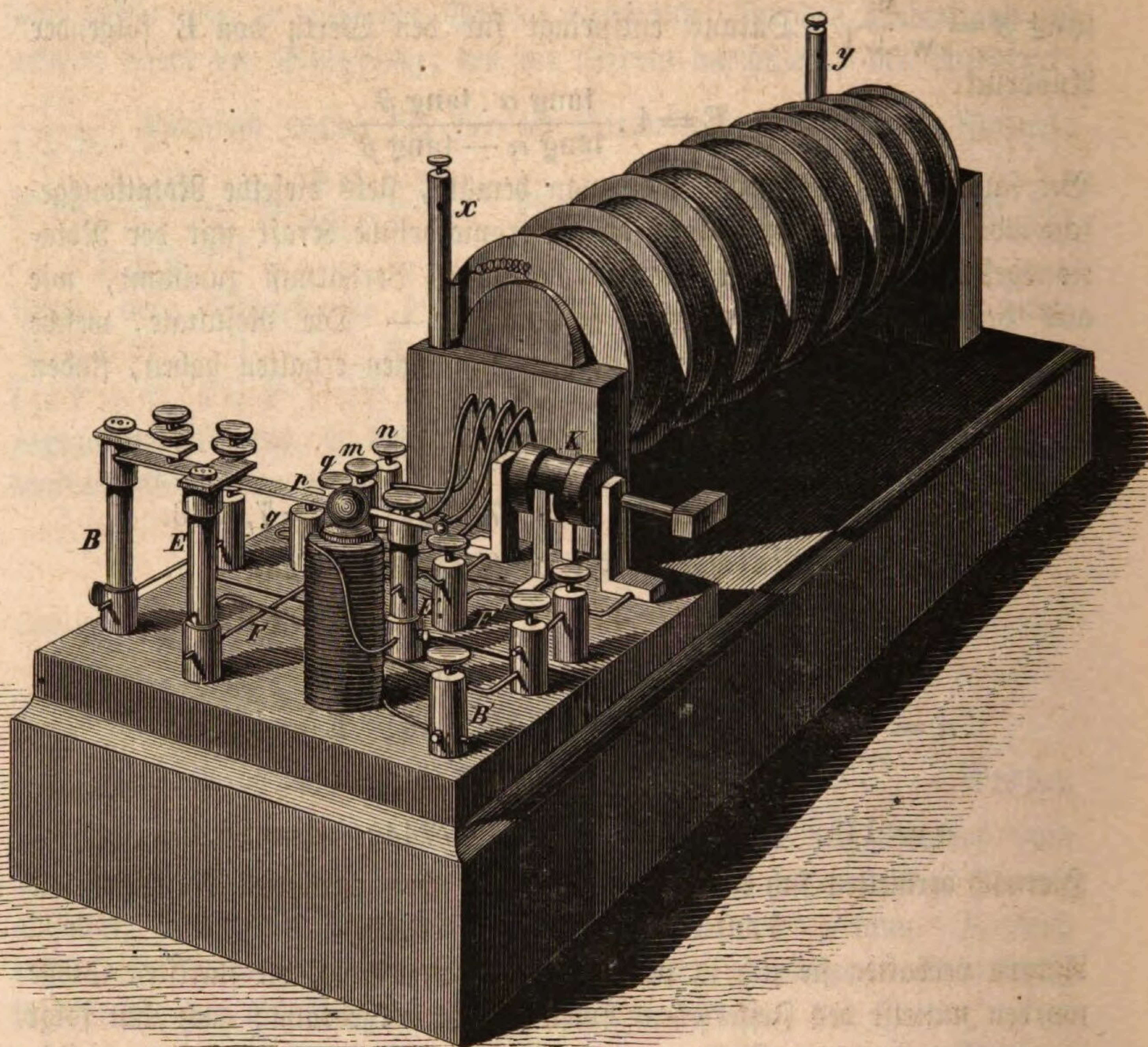
Anders verhalten sie sich in physiologischer Beziehung, die stärksten Stöße wurden mittelst des Fessel'schen Apparates hervorgebracht; nach ihm folgt unmittelbar der von Stöhrer, dann der von Ettingshausen und endlich, als der schwächste in seinen Wirkungen, derjenige von Pixii.

### 3. Der Ruhmkorff'sche Inductionsapparat. — Spannungserscheinungen und physiologische Wirkungen des Apparates. — Wärmewirkungen und chemische Effecte. — Lichteffecte der Inductionsströme.

Der deutsche Mechaniker Ruhmkorff in Paris hat im Jahr 1852 einen Inductionsapparat construirt, durch welchen die Wirkungen der durch den Volta'schen Strom erzeugten Inductionsströme bedeutend gesteigert werden können. Der Apparat, welcher in Figur 94 abgebildet ist, hat vier wesentliche Bestandtheile, nämlich: die Inductionsrolle, die Inductorrolle mit dem Eisendrahtbündel, den Stromunterbrecher mit dem Commutator und den Condensator. — Die Inductionsrolle S an unserem von Fessel angefertigten Apparat hat 32,5 Centimeter Länge und 8,8 bis 10,5 Centimeter äußern Durchmesser. Um bei Anwendung von größeren constanten Ketten das Ueberspringen der Funken innerhalb der Windungen

30*

Fig. 94.




des Inductionsdrahts zu verhüten ist die Inductionsrolle aus mehreren kleineren Inductionsrollen zusammengesetzt, welche der Reihe nach mit einander verbunden sind. Damit man beträchtliche Spannungswirkungen erlangen könne, ist es gut, den Seidenüberzug des Drahts noch durch ein zweites Isolationsmittel zu unterstützen. Jener Ueberzug ist deßhalb mit einem Gemisch von 1 Theil Wachs auf 1 Theil Colophonium getränkt worden, statt dessen man auch Wallrath, Stearinsäure, rectificirtes Terpentinöl oder Paraffin nehmen kann. — Die Inductionsrollen sind auf Cylinder von übereinander geleimtem Papier gewickelt und durch Ringe von Guttapercha zusammengehalten. Um zugleich nach Außen hin eine gute Isolation herzustellen, ist die ganze Rolle mit einem dicken Wachsüberzug versehen, welcher gleichfalls gefirnißt worden. Die Drahtenden der Spirale stehen mit den Messingsäulen x und y in Verbindung, welche von isolirenden Füßen getragen werden und in die man andere Drähte befestigen kann.

Die Inductorrolle enthält zwei übersponnene und überfirnißte Kupferdrähte, die entweder neben- oder hintereinander angewandt werden können. Der Draht ist ein Millimeter dick und etwa 80 Meter lang; er bildet auf einer Pappröhre, welche einen inneren Durchmesser von 4,5 Centimeter besitzt, vier Lagen und füllt so die Inductionsrolle vollständig aus. Die vier Messingsäulchen p, q, m, n vermitteln die Verbindung mit den Inductordrähten in der Weise, daß, wenn p und q einerseits, m und n anderseits durch einen gebogenen Kupferdraht verbunden sind, die beiden Inductordrähte neben einander, dagegen, wenn blos die zwei mittleren Säulchen q und m durch einen gebogenen Kupferdraht verbunden werden, jene beiden Inductordrähte hintereinander zur Anwendung kommen. — Im Innern der Pappröhre steckt ein Eisendrahtbündel, welches wesentlich zur Verstärkung der Wirkung des Apparats beiträgt. Das Bündel besteht aus ohngefähr tausend geglühten Eisendrähten von $\frac{1}{2}$ Millimeter Dicke, welche an beiden Enden mit Seidenfäden zusammengebunden und der bessern Handhabung wegen mit einer Papierhülle umgeben sind. Das Eisendrahtbündel ist etwas länger als die Inductionsrolle und geht mit seinen beiden Enden durch zwei starke Ringe von Guttapercha, so daß Inductionsspirale und Inductorspirale fest auf einem Holzgestelle aufliegen.

Als Stromunterbrecher dient der gewöhnliche magnetische Hammer: wenn der an der Messingsäule E befestigte Stift die federnde Zunge berührt, ist der Inductorstrom geschlossen, dagegen derselbe unterbrochen, wenn die Kugel von weichem Eisen durch den Elektromagnet angezogen wird. Um den Apparat in Thätigkeit zu setzen, verbindet man den positiven Pol zweier Grove'schen Elemente mit der Messingsäule B und den negativen Pol mit der Messingsäule B'. Der Strom geht alsdann von der Säule B zu der Messingsäule E durch den Kupferdraht F; hierauf, wenn der Cylinder K des Commutators die in der Zeichnung angegebene Stellung hat, in einer bestimmten Richtung durch die Inductorspirale; von da kehrt der Strom nach dem Commutator zurück, um durch das Messingsäulchen F' und die Messingsäule E' zu dem negativen Pole des Elektromotors zu gelangen, nachdem er die Drahtwindungen des Elektromotors durchlaufen hat. Wird der Knopf des Commutators um 180° gedreht, so fließt der Strom in der Inductorspirale in einer der vorhergehenden entgegengesetzten Richtung. — So lange der Commutator dem Strome den Durchgang gestattet, bewegt sich die kupferne Feder fortwährend auf und ab, so daß unter dem doppelten Einflusse des beginnenden Volta'schen Stroms und des entstehenden Magnetismus im Eisendrahtbündel einerseits, dann unter den übereinstimmenden Wirkungen des verschwindenden Volta'schen Stromes und des erlöschenden Magnetismus im Eisenbündel anderseits Inductionsströme in der Inductionsspirale erregt

werden. — Die größere oder geringere Schnelligkeit der Unterbrechungen wird dadurch erzielt, daß man das auf die Kupferfeder aufgeschraubte Messingkügelchen in verschiedene Entfernungen von dem Unterstützungspunkte der Feder bringt. — Der Stromunterbrecher und die Messingsäulen B, B', E und E' sind auf einem besonderen Brette fest gemacht, welches sich von dem Bodenbrette des Apparates hinwegnehmen läßt. Dagegen sind der Commutator und die Messingsäulchen F, F' nebst den Messingsäulchen p, q, m, n auf einem Brette befestigt, das auf dem Bodenbrette des Apparates festgeschraubt ist. An unserem Apparat ist demnach der Unterbrecher ganz als ein selbständiges Instrument zu betrachten, welches sich nach Belieben mit anderen Theilen des Apparates verbinden läßt.

Jede Unterbrechung des Volta'schen Stromes ist von einem Extrastrome in der Inductorspirale begleitet, durch welche die inducirende Wirkung des Hauptstromes auf die eigentliche Inductionsspirale geschwächt wird. Zur Beseitigung dieses nachtheiligen Einflusses des Extrastromes dient der Condensator. Derselbe ist in einem unter dem Bodenbrette des Apparates befindlichen Schubkästchen angebracht und besteht aus zwei langen und breiten Streifen von dickem Staniol, welche zwischen drei etwas breiteren und längeren Streifen von Wachstaffet liegen, so daß sie sich nirgends berühren können. Das Ganze bildet gleichsam eine Franklin'sche Tafel von großer Oberfläche, deren eine Belegung durch das Messingsäulchen G nebst Kupferdraht mit der Säule B in leitender Verbindung steht, während die andere Belegung durch das Messingsäulchen G' und zwei Kupferdrähte mit der Säule leitend verbunden ist. Dadurch geschieht es denn, daß bei Unterbrechung des Stroms die Inductorspirale gewissermaßen durch den Condensator geschlossen wird, was bewirkt, daß der Extrastrom sich in demselben gleichsam entladet und so die inducirende Kraft des Hauptstroms nun ungeschwächt auf den Nebendraht sich äußern kann.

Wir gehen jetzt zu einigen der vorzüglicheren Versuche über, die mit dem Ruhmkorff'schen Apparat anzustellen sind. — Steckt man zunächst in die zwei Messingsäulen x und y zwei Kupferdrähte, welche mit Ausnahme ihrer beiden Enden, deren eines in eine feine Spitze ausläuft, mit Guttapercha überzogen sind; so sieht man, wenn der Apparat in Gang gesetzt ist und die Spitzen in einiger Entfernung einander gegenüber gestellt sind, zwischen denselben Funken überspringen, welche, wenn die Spitzen mehr genähert werden, in einen continuirlichen Lichtstrom übergehen. Unterbricht man den inducirenden Strom mit der Hand, so springen die Funken in größerer Entfernung über als mit dem magnetischen Stromunterbrecher. Dies zeigt, daß die langsam erfolgenden Unterbrechungen des inducirenden Stromes der Entwickelung der Inductionsströme günstiger sind als die

rasch aufeinander folgenden. — Die Funken sind intensiver, wenn die eine Messingsäule oder der eine Pol der Inductionsspirale mit dem Erdboden leitend verbunden ist; auch erscheinen die Funken an dem einen Pole durchgehends stärker als an dem andern Pole. Diese Erscheinung deutet darauf hin, daß von den beiden hervorgerufenen Inductionsströmen nur derjenige zur Wirksamkeit nach Außen gelangt, welcher durch das Oeffnen des galvanischen Stroms entsteht. — Gerechtfertigt wird diese Ansicht noch durch folgenden Versuch. Nähert man nämlich ein Elektrometer, während der Apparat in Thätigkeit ist, einem Pole nur so weit, daß Funken auf das Elektrometer überspringen; so erhält man stets eine solche Elektricität, welche dem Pole nach Richtung des Oeffnungsstroms zukommt. Noch besser gibt sich dies kund, wenn einer der Pole mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt ist. — Wenn man den Finger einer beliebigen Stelle der Messingsäulen x oder y nähert, so schlagen stechende Funken über, welche wieder an demjenigen Pole kräftiger hervortreten, der mit dem Drahtende der äußeren Windungen der Inductionsspirale verbunden ist. Dergleichen auf die Hand überspringenden Funken verursachen sehr heftige Erschütterungen, wenn der eine Pol mit dem Erdboden in leitender Verbindung steht; weßhalb man dabei mit einiger Vorsicht zu Werke gehen muß. — Bei vier bis sechs Bunsen'schen Bechern sind die Erschütterungen so stark, daß sie dem Menschen gefährlich werden können.

Bringt man das Elektrometer mit einem der Pole des Apparates in metallische Berührung, so wird dasselbe nicht geladen, weil die durch Schließung und Oeffnung erregten Inductionsströme gleiche Quantitäten entgegengesetzter Elektricitäten liefern. Aus demselben Grunde erfolgt keine Ablenkung der Magnetnadel, wenn der Kreis der Inductionsspirale durch den Draht eines Galvanometers geschlossen ist. — Dagegen bekommt man sogleich eine Ablenkung der Nadel, wenn bei der nämlichen Anordnung der Kreis an einer Stelle unterbrochen wird und der Strom genöthigt ist, daselbst durch eine Luftschichte zu gehen. Die Ablenkung geschieht dann in einer bestimmten Richtung, nämlich in der, welche dem durch Unterbrechung des Stromes erregten Inductionsstrome entspricht, was abermals darauf hinweist, daß die elektrische Spannung des letzteren Stromes größer ist als die des durch Schließung der Kette erzeugten Inductionsstromes. — Die Spannung der entwickelten Inductionselektricität wird durch den Condensator erhöht. Deßhalb wirkt ein Pol der ungeschlossenen Inductionsrolle aus viel größerer Entfernung auf das Elektrometer, wenn ein Condensator angewandt wird, als wenn nicht. Daher kommt es, daß, wenn die Enden der Rheophore des inducirten Stromes durch eine Luftschichte getrennt sind, die Funken bei Anwendung des Condensators reichlicher überspringen als mit Weglassung desselben. — Die galvanometrischen

Ablenkungen wie die physiologischen Wirkungen werden in dem durch Luft unterbrochenen Inductionsstrom durch den Condensator gleichfalls verstärkt. Was die Anwendung des Condensators bewirkt, so kann man solche auf sanfte Weise dadurch erproben, daß man in Wasser zwei Platinplatten stellt und sie mit den Polen der Inductionsspirale verbindet und dann zwischen den Platten einen Finger in das Wasser taucht. — Ueberhaupt wirkt der Condensator nur dann verstärkend, wenn zwischen den Polen des Inductordrahts ein Widerstand zu überwinden ist. Je geringer dieser Widerstand wird, desto mehr nimmt auch die Verstärkung ab. Darum äußert sich die Wirkung des Condensators viel kräftiger bei den Funken in freier Luft, als bei den Lichterscheinungen in verdünnter Luft.

Läßt man die Rheophoren in hinreichend große Platten auslaufen, so erhält man damit eine bessere Leitungsfähigkeit, welche die Uebertragung von Inductionsströmen durch isolirende Körper befördert. — Man lege eine quadratische Kupferplatte, die mit einem Pole verbunden ist, auf den Tisch und bedecke sie mit einer Glasplatte, und lege auf diese eine zweite kleinere runde Kupferplatte, die mit dem andern Pole in Verbindung steht. Man hört, wenn der Apparat in Thätigkeit gesetzt wird, ein anhaltendes Knistern; und sieht, wenn man den Versuch im Dunklen anstellt, die kleine runde Scheibe von einer Anzahl mikroskopischer Funken umgeben, die in unaufhörlicher Bewegung begriffen sind. — Man stelle unter die Glocke der Luftpumpe ein Becherglas, das bis auf zwei Centimeter vom oberen Rand inwendig mit Staniol belegt ist und auf dessen Boden ein durch die lederne Büchse der Glocke der Luftpumpe gehender Metallstab reicht, welcher in eine Glasröhre eingehüllt ist. Wenn man diesen Metallstab und die Maschine selbst mit den Polen des Ruhmkorff'schen Apparates in Verbindung gesetzt hat, sieht man, nachdem die Luft unter der Glocke durch Auspumpen entfernt worden, von dem Metallbeleg zu dem Teller der Luftpumpe einen Feuerregen in Form einer Cascade über den Rand des Glases sich ergießen. — Man bringe zwischen zwei geneigten Glasplatten, die äußerlich mit Staniol bekleidet und mit den beiden Polen des Ruhmkorff'schen Apparates in Verbindung gesetzt sind, Kupferfeilspähne. Man sieht dieselben zwischen den beiden Glasflächen hin und her hüpfen, wie es die Hollundermarkkügelchen in dem Volta'schen Experimente thun. — Eine Leidner Flasche ladet sich nicht bleibend, mögen die Pole der Inductionsrolle die Belegungen der Flasche wirklich berührt haben oder noch durch eine kleine Luftschichte von ihnen getrennt gewesen sein, so daß sie Funken auf dieselben aussandten. Die Flasche ladet sich gleichfalls nicht, wenn nur von dem einen Pol Funken auf ihren Knopf überspringen, während die äußere Belegung und der andere Pol mit dem Erdboden in Verbindung stehen. Die Erscheinung hat darin ihren Grund,

daß unter allen Umständen die Flasche durch den Inductionsdraht selbst wieder entladen wird.

Läßt man den Inductionsfunken durch eine Kerzenflamme hindurchgehen, so erweitert sich der Funke in der Mitte der Flamme und nimmt die Gestalt einer weißen leuchtenden Kugel an: eine Erscheinung, deren Grund wohl in der besseren Leitungsfähigkeit der erwärmten Luft zu suchen sein mag. — Man befestige zwei starke Kupferdrähte an den beiden Polen des Apparates und bringe die Enden der Drähte in einen Abstand von einem halben Centimeter von einander und lasse den Strom quer durch die zwischen den Polenden befindliche Flüssigkeit gehen: es bildet sich alsdann ein leuchtender Strahl, der von einer grünlich gelben Lichtzone begleitet ist. Wenn man nun mit einem Blasbalg stark auf den Funken bläst, so sieht man die grünlich gelbe Lichtzone einen breiten Feuersaum von violetter Farbe bilden. — Endet einer der Rheophoren in einer mit sehr feinem Staube bedeckten Metallplatte, während der andere Rheophor einfach aus einem Metalldraht besteht; so sieht man den Funken auf der Oberfläche verschiedene Formen bilden, welche mit der Natur der Pole sich ändern. — Wird die Oberfläche nicht durch Metall, sondern durch Wasser gebildet, so verästelt sich der Funke und bringt eine große Anzahl vereinzelter violettfarbener Fädchen hervor, welche viel Aehnlichkeit mit den Wurzeln eines Baumes haben.

Man nehme zu Rheophoren zwei ziemlich dicke Eisendrähte und umwickele diese mit sehr feinen Eisendrähten und lasse deren beide Enden ohngefähr ein Millimeter weit von einander abstehen. Einer dieser Drähte erglüht oder verbrennt, nämlich derjenige, welcher dem negativen Pole entspricht. — Kehrt man die Richtung des Stromes um, so ändert sich mit derselben in gleichem Sinne auch die des Wärmeeffects. Dieses ungleiche Verhalten der Pole bezüglich der Wärmeentwickelung eines elektrischen Stromes kann dazu gebraucht werden, ein zur Erkennung der Richtung der Inductionsströme dienendes Galvanometer zu ersetzen. — Nimmt man zu den Rheophoren sehr dünne Platindrähte, so kommt die Spitze des negativen Drahts zum Glühen, wenn man die Drähte einander sehr nahe bringt. — Ein Elektrothermometer wird in dem ganzen geschlossenen Draht zum Steigen gebracht, wobei die Richtung des Stroms gleichgültig ist. — Auch hat der Condensator auf die letztere Erscheinung keinen Einfluß.

Eigenthümlicher Art sind die chemischen Wirkungen der Inductionsströme, was nicht befremden kann, wenn man erwägt, daß derlei Ströme zugleich die Eigenschaft der statischen und dynamischen Elektricität besitzen. Feuchtes Jodkaliumpapier mit den Polen in dem ganz geschlossenen Draht in Berührung gebracht, zeigt unter jedem derselben eine Ausscheidung von

Jod und zwar von gleicher Stärke. Der Condensator übt auf die Erscheinung keinen Einfluß aus. — Befeuchtet man ein Stück Fließpapier mit Jodkaliumlösung, setzt es mit dem negativen Pol in Berührung und nähert es dem positiven hinreichend, so erscheint unter dem letzteren ein brauner Fleck, während unter dem negativen Pol keine Färbung auftritt. Berührt dagegen das Papier den positiven Pol und erhält Funken vom negativen, so wird es unter beiden gebräunt, unter letzterem aber bedeutend schwächer. — Läßt man von beiden Polen Funken auf das Papier überspringen, so zeigt sich unter beiden eine Bräunung, doch unter dem negativen stets eine schwächere als unter dem positiven.

Um Wasser zu zersetzen, bedient man sich feiner in enge Glasröhren eingeschlossener Platindrähte, welche in jene Röhren ausmünden oder aus denselben hervorragen. Stellt man zwei dergleichen Röhren, die mit den Polen des Apparates in leitender Verbindung stehen, in schwach gesäuertem Wasser einander gegenüber; so erhält man an jedem Pole beide Gase zugleich, wenn der feine Platindraht den Rand der Röhre, in welchem er befestigt ist, nicht überschreitet. — Die Gase erscheinen an den beiden Polen getrennt, wenn man die Enden der Platindrähte aus den Glasröhren etwas hervorragen läßt. — Löthet man an den Draht einer Glasröhre eine kleine Platinplatte, so tritt die Wasserzersetzung mit gemischten Gasen nur an dem Pole auf, welcher mit der Glasröhre in Verbindung steht, an der keine Platinplatte sich befindet. — Endlich hört die Zersetzung gänzlich auf, wenn an den beiden Drähten der Röhren Platinplatten angebracht sind.

Man schmelze in eine hermetisch verschlossene mit atmosphärischer Luft gefüllte Glasröhre zwei Platindrähte ein, so daß deren Enden im Innern der Röhre ohngefähr 2 Millimeter einander gegenüber stehen. Nachdem die Außenenden der Drähte mit dem Ruhmkorff'schen Apparate in Verbindung gebracht worden und längere Zeit Funken im Inneren der Röhre durchgeschlagen haben, nimmt man darin eine Farbenveränderung wahr, indem röthliche Dämpfe die Röhre erfüllen. Unter der Einwirkung des Inductionsstromes hat demnach eine chemische Vereinigung zwischen dem Sauerstoff und dem Stickstoff stattgefunden; und in der That haben beim Oeffnen der Röhre unverkennbare Spuren von Salpetersäure sich zu erkennen gegeben.

Bestehen die Enden der beiden Rheophoren aus Holzkohle, so hat der Funke am negativen Pol einen stark strahlenden weißen Lichtschein, dagegen zeigt er am positiven Pole nur einen röthlichen Schein. — Diese Erscheinung tritt viel ausgebildeter und intensiver hervor, wenn man Korkholz anwendet, das man durch Eintauchen in Schwefelsäure zum Leiter

gemacht hat. — In Flüssigkeiten variirt die Farbe des Funkens je nach der Beschaffenheit derselben; er erscheint im Quecksilber weiß, im Oel grünlich, im Wasser röthlich, im Alkohol entschieden roth. — Füllt man zwei Glasröhren mit Quecksilber und läßt aus ihren in Spitzen zulaufenden Enden Platindrähte hervorragen, die vorn mit einer kleinen Kugel desselben Metalls versehen sind, befestigt hierauf die beiden Röhren an zwei Stativen und taucht ihre Enden in ein mit gesäuertem Wasser angefülltes Glasgefäß, so erscheinen die Platindrähte beim Ueberspringen des Inductionsfunkens von einer Lichthülle umgeben. Die Farbe dieses Lichtes ist an den beiden Polen verschieden; an der negativen Elektrode ist sie violett, an der positiven dagegen roth.

Wenn der Induktionsfunken durch sehr verdünnte Gase geleitet wird, erhält man die schönsten Lichterscheinungen, deren einige hier nunmehr zur Sprache kommen sollen. Man nehme eine Glaskugel oder Glasglocke, in deren Inneres von oben und unten Metallstäbe hineinragen, welche in Kugeln sich endigen, die in verschiedene Entfernungen von einander gestellt werden können und evacuire jenen Innenraum mittelst einer guten Luftpumpe bis auf 1—2 Millimeter Druck. Setzt man dann die beiden Metallstäbe des Recipienten mit den Polen des Ruhmkorff'schen Apparates in Verbindung, so sieht man den Recipientenraum von einem eigenthümlichen Lichtschein erhellt, der an seinen beiden Enden verschmälert ist. Die negative Kugel ist von einer violetten Lichtatmosphäre vollständig eingehüllt, während von der positiven Kugel rothes Licht ausströmt, welches immer blasser wird, je weiter es sich von der positiven Kugel entfernt. Dieses elektrische Licht ist gestreift, d. h. es besteht aus einer Reihenfolge glänzender Schichten, welche durch dunkle Streifen von einander getrennt sind. Diese Erscheinung der Streifung tritt deutlicher hervor in den sogenannten Geißler'schen Röhren, welche mit verdünnten Gasen oder verdünnten Dämpfen von Alkohol, Terpentinöl, Schwefelkohlenstoff, Phosphor u. dgl. gefüllt sind, nachdem vorher Platindrähte an geeigneten Stellen eingesetzt worden. — Die Schichtung und Färbung des elektrischen Lichtes ändert sich mit der Natur und Beschaffenheit der Gase und Dämpfe, die sich in den Röhren befinden. — Die äußere Form des Lichtscheines ändert sich mit der Länge und Weite der Röhren; desgleichen hängt die Form der Schichten von der Form der Elektroden ab. — In den meisten Fällen machen die leuchtenden Stellen kleine Oscillationen, so daß sie in einer spiralförmigen Bewegung begriffen zu sein scheinen. — Geht der Inductionsfunke durch mehrere durch Röhren verbundene Kugeln, in deren zwei äußersten Platindrähte eingeschmolzen sind, welche mit den Polen der Inductionsspirale in Verbindung stehen; so wird der ganze innere Raum des Glaskörpers von einem Lichtscheine erhellt, der an verschiedenen Stellen

verschiedene Eigenschaften zeigt. Die Röhren sind mit leuchtenden durch dunkle scharf begrenzte Zwischenräume getrennten Schichten erfüllt, während das Licht in den Kugeln bleiche lockere weiter von einander entfernte Schichten bildet. Der positive Draht zeigt einige stark glänzende Punkte, dagegen ist der negative Draht von einer dünnen hell leuchtenden Hülle umgeben. — Das elektrische Licht ist reich an ultravioletten Strahlen; woher es denn kommt, daß wegen der Fluorescenz des Glases die Wandungen der Röhren eine blaugrünliche Färbung annehmen und wegen der Fluorescenz des Porcellans ein in die Nähe gehaltener Porcellanteller dunkelbraun aussieht.

Schaltet man ein empfindliches Galvanometer ein, so zeigt dasselbe keine Ablenkung, wenn die Luftverdünnung nicht hinreichend vorgeschritten ist. Erst wenn die Verdünnung so weit gediehen, daß von dem positiven Pol ein röthliches Licht ausströmt, beginnt die Nadel des Galvanometers sich zu bewegen. Ist die Verdünnung so weit getrieben, daß das violette Licht am negativen Pol auftritt, so findet die größte Ablenkung der Nadel statt. Hieraus folgt, daß der verdünnte Raum ein um so besserer Leiter wird, je verdünnter er ist. Je näher übrigens die Kugeln zu einander stehen, zwischen denen der Funken überspringt, desto größer fällt die Ablenkung der Nadel aus.

Ein bemerkenswerther Umstand ist die verschiedene Ablenkbarkeit des elektrischen Lichtes, wenn wir die Hand oder einen andern Leiter demselben nähern. Diese Ablenkbarkeit ändert sich mit der Natur der Gase oder Dämpfe in den Röhren, wie denn die Form der letzteren gleichfalls dabei von Einfluß ist. — Berührt man z. B. mit den Fingern eine cylindrische Röhre, welche in der Mitte eine ellipsoidische Erweiterung hat und an deren Enden sich Kugeln befinden, in welchen die beiden Platinelektroden eingeschmolzen sind; so wird das Licht bald zu den berührten Stellen angezogen, bald von denselben abgestoßen, indem zugleich breite dunkle Schichten die Lichtströmung unterbrechen. — Bei einer Commutation der Stromrichtung tritt immer die entgegengesetzte Erscheinung auf.

## 4. Einwirkung der Magnete auf die elektrischen Entladungen in gasverdünnten Räumen.

Bemerkenswerth ist die Einwirkung der Magnete auf die elektrische Entladung in gasverdünnten Räumen. Diese Einwirkung ist bei dem positiven Lichtstrome eine andere wie die bei dem negativen. Was die erstere anlangt, so geschieht dieselbe in der nämlichen Weise, wie bei einem elektrischen Leiter, welcher vollkommen beweglich ist. Als Belege für die Richtigkeit dieses Ausspruches dienen folgende Versuche. — Man lege eine Geißler'sche Röhre, welche in der Mitte in ellipsoidischer Form sich er-

weitert, in ihrer Mitte auf die genäherten Halbanker eines großen aufrecht stehenden hufeisenförmigen Elektromagnets und lasse dann den elektrischen Strom in der äquatorialen Richtung durch die Röhre gehen. Bei der zweifachen Stromrichtung und der zweifachen Erregung des Elektromagnets ergeben sich vier Fälle. In zwei Fällen werden die in das Ellipsoid eintretenden Lichtströme angezogen, in den beiden andern abgestoßen. — In dem Falle der Anziehung senkt sich der Lichtstrom von der Seite der positiven Elektrode oder des Lichtpoles her in das Ellipsoid herab und läuft oberhalb der genäherten Anker in eine scharfe Spitze aus, während von der andern Seite her fortwährend rothe Flammen in das Ellipsoid herabströmen. — Beim Commutiren der magnetischen Polarität concentrirt sich das Licht zu einem glänzenden Bogen, der an dem obern Theil des Ellipsoids äquatorial sich hinzieht, dabei werden die dunkeln Intervalle immer zahlreicher und schärfer. Bei Commutation der Stromrichtung ändert sich die ursprüngliche Erscheinung blos in so fern um, als der von der entgegengesetzten Seite her niedersteigende Lichtstrom in eine Spitze ausläuft. Zwei ganz gleich geformte Röhren, welche verschiedene Dämpfe enthalten, bieten genau dieselben Erscheinungen dar, nur mit dem Unterschiede, daß das Licht eine verschiedene Färbung hat.

Man lege die vorhin besprochenen Geißler'schen Röhren dergestalt auf die genäherten Halbanker des Elektromagnets, daß der elektrische Strom nach der axialen Richtung durch dieselben hindurchgeht. Es findet dann eine horizontale Ablenkung der von beiden Seiten in das Ellipsoid eintretenden Lichtströme statt und zwar in entgegengesetztem Sinne. Der von der positiven Elektrode oder dem Lichtpole ausgehende Strom läuft in eine hellleuchtende Spitze aus, die an einem der beiden Endpunkte des äquatorialen horizontalen Durchmessers des Ellipsoids ihre Stelle hat. Der von der negativen Elektrode oder dem Wärmepole aus in das Ellipsoid eintretende Strom wird nach der entgegengesetzten Seite hingedrängt, von wo fortwährend wogende Flammen nach der Seite der Lichtspitze hin aufschlagen. — Bei einer Commutation der Stromrichtung sowohl wie auch der magnetischen Polarität kehrt sich die Erscheinung um, indem die Stellen der Lichtspitze und des wogenden Lichtes sich vertauschen.

Eine neue Klasse von Erscheinungen hat zuerst der geistreiche deutsche Physiker Plücker wahrgenommen, als er das am Wärmepol auftretende und durch einen dunklen Raum von dem eigentlichen Lichtstrom getrennte Licht der Einwirkung des Magnets aussetzte. Um die hierher gehörigen Erscheinungen vollständig wahrzunehmen, muß diejenige Elektrode, wo der Wärmepol auftreten soll, tief genug in die Röhre hineinragen und die Röhre an diesem Ende weit genug sein. Plücker nahm eine Röhre von 10 Millimeter Weite, an deren beiden Enden Glaskugeln von 35 Milli-

meter Durchmesser angeschmolzen waren und deren ganze Länge 250 Millimeter betrug; die Platinelektroden ragten in die Kugeln bis zu den Mittelpunkten derselben hinein. Plücker legte auf den Elektromagneten zwei Halbanker mit abgerundeten Endflächen, in deren Mitten stumpf konoïdische Polspitzen eingeschraubt waren. Die eine Endkugel der Röhre, in welcher der Wärmepol auftrat, wurde an die konoïdischen Polspitzen so angelegt, daß die zwischen denselben hindurchgehende Röhre eine horizontale und äquatoriale Lage hatte. — Vor der magnetischen Erregung war diffuses violettes Licht durch die Kugel verbreitet, von blassem grünem Lichte umgeben. Nach erregtem Magnetismus sammelte sich das diffuse Licht zu einer horizontalen, halbmondförmigen, gleichmäßig hell beleuchteten Scheibe, welche nach der Röhre hin durch eine gegen diesen concaven Bogen scharf begrenzt war, der in seiner Mitte durch die Spitze der Platinelektrode ging. Auf der andern Seite war die Scheibe durch einen schmalen Streifen grünen Lichtes eingefaßt, der sich am Glase hinzog. Diese Erscheinung blieb nach der Commutation der magnetischen Polarität unverändert. — Wurde hierauf die Röhre so gelegt, daß sie immer noch die horizontale äquatoriale Lage behielt, aber nicht mehr zwischen den Polen hindurchging, welche die Kugel fortwährend berührten; so blieb die Erscheinung dieselbe mit dem einzigen Unterschiede, daß die violette Scheibe nach der Röhre hin durch einen gegen diese convexen Bogen begrenzt wurde, dessen Mitte fortwährend mit der Spitze der Platinelektrode zusammenfiel. — Alsdann wurden die beiden Halbanker so weit von einander entfernt, daß die Kugel eben dazwischen gebracht werden konnte. Die Scheibe, welche sich wie in den beiden vorhergehenden Fällen bildete, wurde von dem axialen Durchmesser begrenzt, in dessen Nähe eine stärkere Lichtansammlung hervortrat.

Während nach Erregung des Magnetismus das in der Kugel des Wärmepols verbreitete Licht sich zu einer Scheibe langsam zusammenzieht, rotirt es um die axiale Linie. Beim Wiederaufheben des Magnetismus rotirt das Licht in entgegengesetzter Richtung zurück. — Die Röhre behielt die horizontale äquatoriale Lage, der Halbanker wurde von einem der beiden Schenkel des Elektromagnets fortgenommen, während die Polspitze des andern verlängert gedacht durch den Mittelpunkt der Kugel ging. Die horizontale Lichtscheibe blieb von dem axialen Durchmesser der Kugel begrenzt, nur war violettes Licht in der Nähe der verbliebenen Polspitze intensiver. — Die bisherige Scheibe nahm die Form einer gewölbeähnlichen Fläche an, die sich von dem Platindrahte aus zu den beiden Seiten desselben herabsenkte, als die Kugel von oben her mit den beiden Polspitzen in Berührung gebracht wurde und die Röhre die horizontale äquatoriale Lage hatte. — Auf Grundlage der vorhin besprochenen Erscheinungen fand sich Plücker veranlaßt, das um den Wärmepol verbreitete diffuse Licht,

welches unter Einwirkung des Magnets sich in mehrere magnetische Curven zusammenzieht, magnetisches Licht zu nennen.

Hierauf wurde die mit Kugeln an ihren Enden versehene Röhre in die axiale Lage gebracht und nur auf einen Schenkel des Elektromagnets ein Halbanker mit konoïdischer Spitze gelegt, so daß diese die Wärmeelektrode berührte. Das violette Licht strömte dann die Form eines Cylinders annehmend in die Röhre; das grüne Licht sammelte sich besonders hell leuchtend am Eingange in die Röhre an, während es von da aus über die innere Oberfläche der Kugel sich erstreckte und nach der Mitte der Kugel hin scharf begrenzt war. — Bei einer Commutation schien das violette Licht sammt dem grünen zuerst nach der Platinelektrode zurückzufließen und dann wieder vorwärts sich zu bewegen, um zuletzt genau die frühere Lage wieder einzunehmen.

Bemerkenswerth ist es, daß die Concentration der Lichtatmosphäre um den Wärmepol zu einer von magnetischen Curven gebildeten Lichtfläche in allen Fällen die gleiche bleibt. Die verschiedene Natur der Gase im Innern der Röhren ändert blos die Farbenerscheinung auf mannigfache Weise ab. — Röhren, die höchst verdünntes Stickgas enthalten, geben geschichtetes feuerrothes Licht, die Lichtatmosphäre um den Wärmepol ist schön violett; Röhren mit etwas Kohlensäure liefern geschichtetes grünes Licht und eine schön blaue Lichtatmosphäre um den Wärmepol. Die Lichtflächen, in welche das violette und das blaue Licht unter der Einwirkung des Magnets sich zusammenziehen, unterscheiden sich der Form nach in keinerlei Weise von einander.

Die Farbe der Lichtatmosphäre um den Wärmepol und der Flächen, in welche dieselbe durch den Magneten sich zusammenzieht, ist von der Natur der Elektroden ganz unabhängig. Denn als die Platindrähte vorher mit geschmolzenem Glase umgeben und dann auf galvanischem Wege bezüglich stark vergoldet, versilbert, verkupfert worden, war die Erscheinung unter Einwirkung des Magnets ganz dieselbe, wenn nach einander jedes Ende jeder der drei Röhren zur positiven Elektrode wurde.

Wurde die Platinelektrode isolirt bis auf eine kleine Stelle ausgenommen, so verbreitete sich die ganze Lichtatmosphäre von dieser Stelle aus nicht mehr zu einer Lichtfläche, sondern zu einer Lichtlinie. — Waren mehrere Punkte der Platinelektrode nicht isolirt, so entsprach jedem dieser Punkte eine solche leuchtende magnetische Curve. — Wenn mithin der Platindraht nicht isolirt ist, so verbreitet sich von jedem seiner Punkte aus magnetisches Licht, wodurch die magnetische Fläche entsteht, als der geometrische Ort der durch die einzelnen Punkte des Platindrahtes gehenden magnetischen Curven. — Jeder Strahl, der sich nach einer magnetischen Curve krümmt und einen Theil des Lichtbogens bildet, scheint sich demnach

gleichsam gerade so zu verhalten, als ob er aus Elementen bestände, die als kleine Magnete mit ihren befreundeten Polen an einander stießen.

Von den von Plücker in neuerer Zeit über die elektrische Entladung in gasverdünnten Räumen gemachten Beobachtungen noch einige hier anzuführen können wir uns nicht versagen. Zunächst legte er auf die beiden abgerundeten Halbanker eines großen Elektromagnets eine an ihren Enden in Spitzen ausgezogene evacuirte Glasröhre, welche an ihren Enden mit zwei verschiebbaren Staniolbelegen umgeben war, die mit den beiden eingeschmolzenen Platinelektroden in Berührung gebracht wurden. Unter der magnetischen Einwirkung concentrirte sich das geschichtete Licht, welches den zwischen den Staniolbelegen entfernten Raum ausfüllte, in zwei intensive Lichtströme. Diese getrennten Lichtströme legten sich an den obersten und untersten Theil der inneren Wandung der Röhre an. — Sowohl nach einer Commutation des Ruhmkorff'schen Apparates als auch nach einer Commutation der magnetischen Polarität, war die Erscheinung genau dieselbe. — Ein solcher Doppelstrom entstand auch dann schon, wenn man blos einen Staniolbeleg nahm und mit dem Finger an einer Stelle berührte. Der Doppelstrom ward schöner, wenn der zweite Staniolbeleg beibehalten und mit der Hand angefaßt wurde. — Der eine Theil dieses Stromes entspricht der Schließung, der andere der Wiederunterbrechung des Ruhmkorff'schen Apparates, dergleichen Ströme erscheinen mithin nicht gleichzeitig, sondern nur sehr schnell nach einander.

Zweitens legte Plücker eine evacuirte Glaskugel, in welche die beiden Elektroden nur bis zur inneren Wandung hineinragten und dort zu kleinen Knöpfen abgerundet waren, auf den großen Elektromagnet, so daß die Ebene des durch die beiden Knöpfe der Elektroden gehenden größten Kreises eine senkrechte und axiale Lage hatte. Nach Erregung des Elektromagnets vereinigte sich das Licht der negativen Elektrode zu einem einzigen Bogen, während das Licht der positiven Elektrode in der Form einer Spirale nach dem negativen Lichtbogen sich hinzog, von welchem es indeß durch eine dunkle Stelle getrennt blieb. Diese Erscheinung änderte sich mit einer Commutation der magnetischen Polarität und mit einer Commutation der Stromrichtung.

Drittens brachte Plücker eine evacuirte Glaskugel mit zwei durchgehenden parallelen Platinelektroden, die in der Ebene desselben größten Kreises gleichweit vom Mittelpunkte der Kugel entfernt waren, auf die beiden abgerundeten Halbanker des Elektromagnets. Die beiden Elektroden waren axial gerichtet und befanden sich in derselben Horizontalebene. Die von dem negativen Lichte gebildete magnetische Fläche wich wenig von der Ebene desjenigen kleineren Verticalkreises ab, der durch die bezügliche

Elektrode ging und wurde durch einen hellvioletten magnetischen Bogen scharf begrenzt. Wenn von oben angesehen die negative Elektrode oben und die positive unten sich befand, und die Kugel links auf dem Südpole rechts auf dem Nordpol auflag, ward das Licht der positiven Elektrode nach den Enden derselben hingedrängt, von wo aus es in zwei Spiralen zu der negativen Elektrode übergeführt wurde. — Die Erscheinung erhielt eine andere Gestalt mit einer Aenderung der magnetischen Polarität und einer Commutation der Stromrichtung.

Viertens waren die beiden Elektroden der Kugel äquatorial gerichtet und lagen in derselben Horizontalebene. Als die Mitte zwischen den beiden Elektroden in die Aequatorialebene fiel, war die durch die beiden Elektroden gehende gewölbeförmige magnetische Fläche gleichmäßig in violettem Lichte erleuchtet. Die positive Elektrode hatte ihr Licht verloren. Eine Commutation der magnetischen Polarität änderte in der Erscheinung nichts. — Die magnetische Fläche gestaltete sich anders, als die Kugel parallel mit sich selbst nach axialer Richtung verschoben wurde.

## 5. Elektrische Spectra in gasverdünnten Räumen.

Mit sorgsamem Fleiße hat Plücker die Spectra der verschiedenen Gase wiederholt untersucht, wenn durch dieselben bei starker Verdünnung die elektrische Entladung hindurchgeht. Nach diesen Versuchen scheint ihm erwiesen zu sein, daß das die elektrische Entladung in solchen Räumen begleitende Licht von dem Metalle der Elektroden ganz unabhängig und einzig und allein von den zurückgebliebenen Gasspuren bedingt ist. Die Geißler'schen Röhren geben je nach den Spuren von Gasen oder Dämpfen, die sie enthalten, schöne Spectra von der größten Mannichfaltigkeit. Jedes Gas hat sein charakteristisches Spectrum; im Uebrigen stimmen alle diese Spectra darin überein, daß die verschiedenen Farben scharf begrenzt sind, während letztere in dem gewöhnlichen Sonnenspectrum in einander überfließen. — Zur Herstellung solcher Spectra wurde der leuchtende elektrische Entladungsstrom in Thermometerröhren concentrirt, deren innere Durchmesser für die verschiedenen Gase etwa 0,6 Millimeter betrugen. Zur Beobachtung der Spectra bediente sich Plücker eines Frauenhofer'schen Fernrohrs, welches in einer Entfernung von 4 Meter von der verticalen Lichtlinie in der Röhre aufgestellt war. Der brechende Winkel des Flintglasprismas, das unmittelbar vor dem Objectiv befestigt war, betrug 45°. Einige kurze Andeutungen über vier dergleichen Spectra mögen hier genügen.

Wasserstoffgas liefert ein verhältnißmäßig einfaches Spectrum, in welchem drei helle Streifen besonders hervortreten: ein blendend rother, der sich über einen größeren Raum verbreitet; ein schöner grünlich blauer

und ein wenig heller violetter, dessen Abstand von dem grünlich blauen etwa ein Drittel beträgt von dem Abstand dieses Streifens von dem blendend rothen.

Im Spectrum des Stickgases sind alle Farben schön, keine derselben ist verwaschen. In dem Raume des Rothen, Orange und Gelben kommen 15 dunkelgraue feine Linien vor, in fast gleichem Abstande von einander. Vom Orange an gerechnet ist das Rothe ins Braune schattirt, wird aber nach dem Ende des Spectrums hin heller und reiner. — Von dem Gelben ist ein breiterer grüner Raum durch einen schmalen schwarzen Streifen getrennt; in diesem Raume zeigen sich sehr feine schwarze Linien, die gleichweit von einander abstehen. — An das Grüne stoßen zwei hellblaue Streifen, die unter einander und von dem Grünen durch schmale schwarze Streifen scharf begrenzt sind. — Das violette Ende des Spectrums bilden neun scharf begrenzte violette Streifen, die mit dunkeln abwechseln.

In dem Spectrum von Fluorborgas nimmt Roth mit Orange und Gelb etwa ein Fünftel des ganzen Raumes ein, von den übrigen vier Fünftel kommen zwei auf das Grüne und zwei auf das Violette. Das Blau scheint ganz zu fehlen. — Der Raum des Rothen wird durch fünf feine schwarze Linien in sechs gleiche Theile getheilt, was im Orange und Gelben auch der Fall ist. — Ein hellgrüner Streifen theilt das Grüne in zwei von einander wesentlich verschiedene Theile; der dem Gelben zunächst liegende Theil wird nach den beiden äußeren Grenzen hin immer dunkler. Der übrige Theil des Grünen und des Violetten erscheint in 16 Streifen getheilt, von denen 10 auf das Violette kommen. Jeder einzelne Streifen ist nach der Seite des Rothen hin hell und wird nach der entgegengesetzten Seite hin allmählig dunkel.

Das Spectrum der Kohlensäure erscheint durch sechs helle Streifen in fünf Räume getheilt, von denen die beiden ersten gleiche Breite haben, der dritte und namentlich die zwei letzten etwas breiter sind. Der erste Streifen ist roth, der zweite röthlich orange, der dritte grünlich gelb, der vierte grün, der fünfte blau, der sechste violett. Der erste Raum ist braunroth, der zweite schmutzig orange, der dritte und vierte verwaschen grün, der fünfte ist ganz verwaschen. — Nach dem zuletzt angeführten Streifen kommt noch ein dunkler Theil des Spectrums, in welchem drei scharf hervortretende violette Streifen sich vorfinden. — Der erste rothe Streifen, welcher im ersten Augenblick besonders glänzend sich zeigte, verlor, nachdem der Strom längere Zeit durch die Röhre gegangen war, fast seine ganze Helligkeit.

## 6. Verbindung mehrerer Inductionsapparate.

Die Verbindung mehrerer Inductionsapparate, die auf verschiedene Weise sich ausführen läßt, bietet bemerkenswerthe Erscheinungen dar, von denen einige in Kürze hier erwähnt werden mögen. Durch passende Zusammenstellung dergleichen Apparate lassen sich Funken von bedeutender Länge erhalten, selbst Durchbohrungen von dünnen Glasplatten bewirken, wenn man sie zwischen den Polen der Inductionsspiralen einschaltet. Solche Erscheinungen veranlassen uns abermals die Inductionsströme bezüglich ihrer Eigenschaften zwischen den Entladungen der durch Reibung entwickelten Elektricität und den Volta'schen Strömen stehend zu betrachten, indem sie einerseits den ersteren sich nähern, was die Spannung anlangt, und anderseits den letzteren mehr als jenen verwandt sind, was die Quantität betrifft. — Man verbinde zwei Inductionsapparate A und B dergestalt mit einander, daß der galvanische Strom die Magnetisirungsspiralen beider hintereinander durchläuft und die sie einschließenden Eisenkerne gleichfalls ein Ganzes ausmachen. Zu dem Behuf wird nur ein einziger Stromunterbrecher z. B. der von A gebraucht, der eine Pol des Elektromotors dann an demselben und der andere Pol an dem einen Ende der Inductorspirale von B befestigt, während die beiden anderen Enden der Magnetisirungsspiralen mit einander verbunden sind; endlich wird eine Verbindung zwischen den beiden in der Achse dieser Spiralen befindlichen Eisendrahtbündel durch eine eiserne Querstange hergestellt. Hierauf wird der eine Rheophor an dem einen Ende des Inductionsdrahtes von A und der andere Rheophor an dem einen Ende des Inductionsdrahtes von B befestigt, indem gleichzeitig die beiden anderen Enden dieser Drähte metallisch mit einander verbunden werden. Man erhält einen elektrischen Funken von gleicher Spannung an beiden Polen der ein Ganzes bildenden Inductionsspiralen; außerdem gibt sich eine Zunahme der Stärke des Inductionsstromes zu erkennen.

Man verbinde zwei Inductionsapparate A und B dergestalt, daß der galvanische Strom die Inductorrollen beider hintereinander durchfließt, die Inductionsrollen aber getrennt bleiben. Der Funke der Inductionsspirale von A wird geschwächt, wenn die von B ungeschlossen und ohne Eisenbündel ist; noch schwächer wird jener Funke durch Einschiebung eines Eisenbündels in B; dagegen erhält der Funke seine frühere Stärke wieder, wenn eine metallische Schließung bei B stattfindet. — Die Ursache dieser Erscheinung liegt in der Wirkung des Extrastroms, welcher den Inductionsstrom schwächt. Eine solche Schwächung wird um so größer, je stärker der Extrastrom ist, welcher vornehmlich durch Einwirkung des Eisenbündels an Stärke zunimmt.

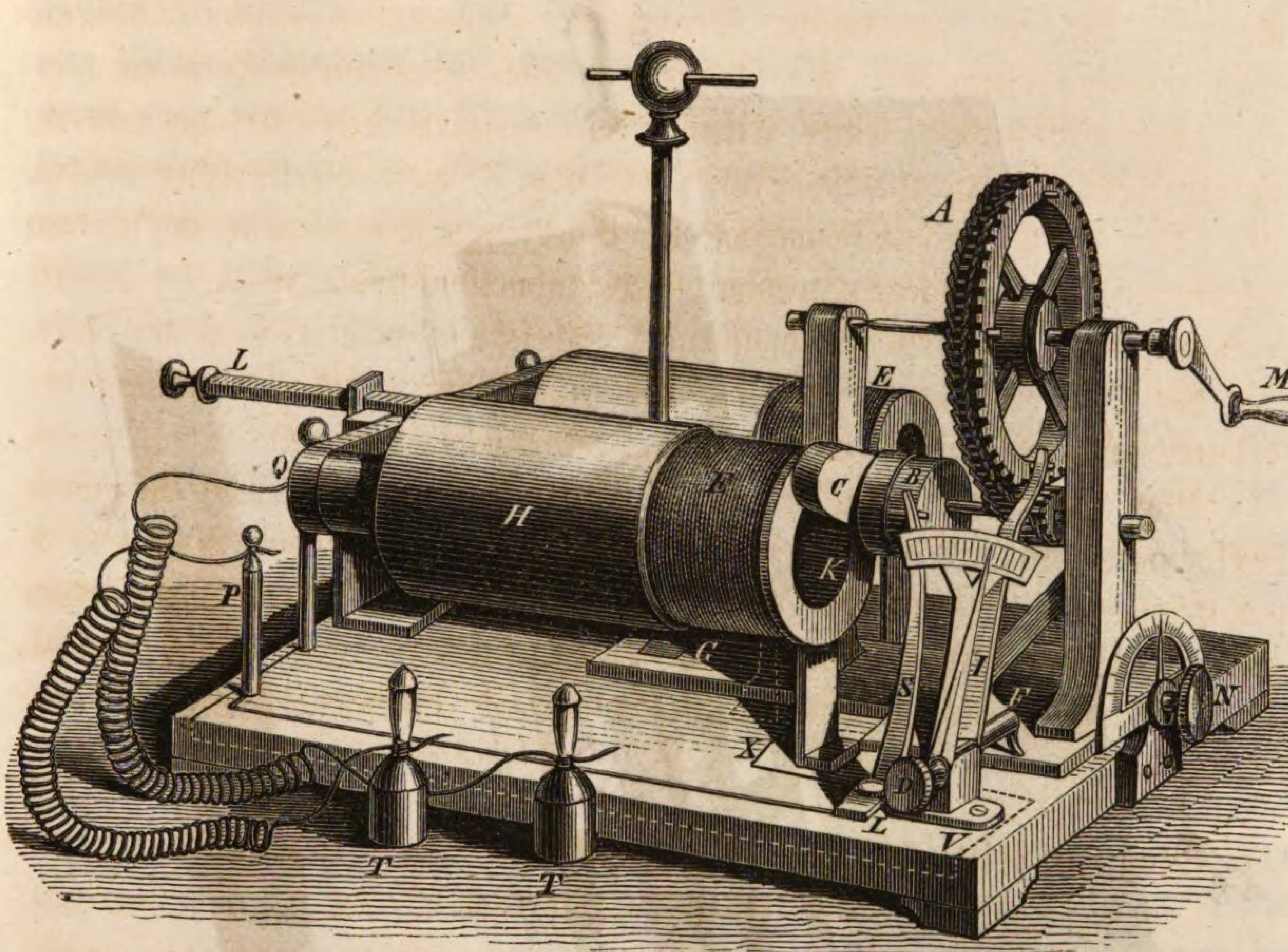
Man combinire zwei Inductionsapparate A und B in der Weise mit einander, daß der galvanische Strom die Hauptrollen beider Apparate neben einander durchläuft, die Inductionsrollen aber wieder getrennt bleiben. Die Einschiebung eines Eisenbündels verstärkt die Wirkung von A, dagegen hebt die metallische Schließung von B diese Verstärkung wieder auf. Der durch das Eisenbündel in B erzeugte Extrastrom wirkt dem Extrastrom in A entgegen, weßhalb der Inductionsstrom in A an Stärke zunehmen muß. Durch die metallische Schließung von B wird die Wirkung des Eisenbündels daselbst aufgehoben, wodurch die Verstärkung des Inductionsstromes in A wieder zum Verschwinden kommt.

Man wende für jeden der beiden Apparate A und B einen besondern Elektromotor an, verbinde den einen Pol von A mit einem Pole von B und bringe die Rheophoren an die übrig bleibenden Pole. Man erhält einen inducirten Strom von gesteigerter Intensität, welche jedoch je nach der Verbindung der Pole in dem einen Fall bedeutender als in dem andern ist.

## 7. Magnetoelektrische und Voltaelektrische Inductionsapparate zu medicinischen Zwecken.

Es sollen nun einige Inductionsapparate beschrieben werden, welche man vorzugsweise zu medicinischen Zwecken anwendet; wir machen den Anfang mit dem magnetoelektrischen Apparat von Düchenne. Die Inductorrollen sind auf die Schenkel des Hufeisenmagnets KK (Fig. 95) aufgeschoben, von dessen Polen sich eine Armatur von weichem Eisen C um eine zu dem Magneten parallele Achse dreht. Durch die Kurbel M wird das Rad A in Bewegung gesetzt, welche durch eine Kette einem Getriebe mitgetheilt wird, das mit C auf derselben Achse sitzt. — Auf die beiden Schenkel des Magnets ist zunächst ein dicker mit Seide übersponnener Kupferdraht gewickelt, darüber ein zweiter feinerer Draht E E gelegt, in welchem durch den ersteren ein Strom zweiter Ordnung inducirt wird. Die Enden beider Drähte sind mit metallenen Ständern verbunden, von denen in der Zeichnung nur ein Paar P Q angegeben ist. Der Inductionsstrom wird durch Kupferdrähte zu den metallenen Excitatoren T T geleitet, welche von dem Arzte an gläsernen Handhaben angefaßt und dann mit den leidenden Theilen in Berührung gebracht werden. Der Commutator B nebst den Stücken S, J, D, F dient zur zweckmäßigen Herstellung der Unterbrechungen des Stromes. — Die Stärke der elektrischen Erschütterungen wird dadurch regulirt, daß man den Magnet der Armatur C nach Belieben nähert oder davon entfernt, was mittelst der Schraube N sich bewerkstelligen läßt. — Den Hauptregulator bilden jedoch die Kupfercylinder H, H, welche mehr oder weniger über die Inductionsrollen ge-

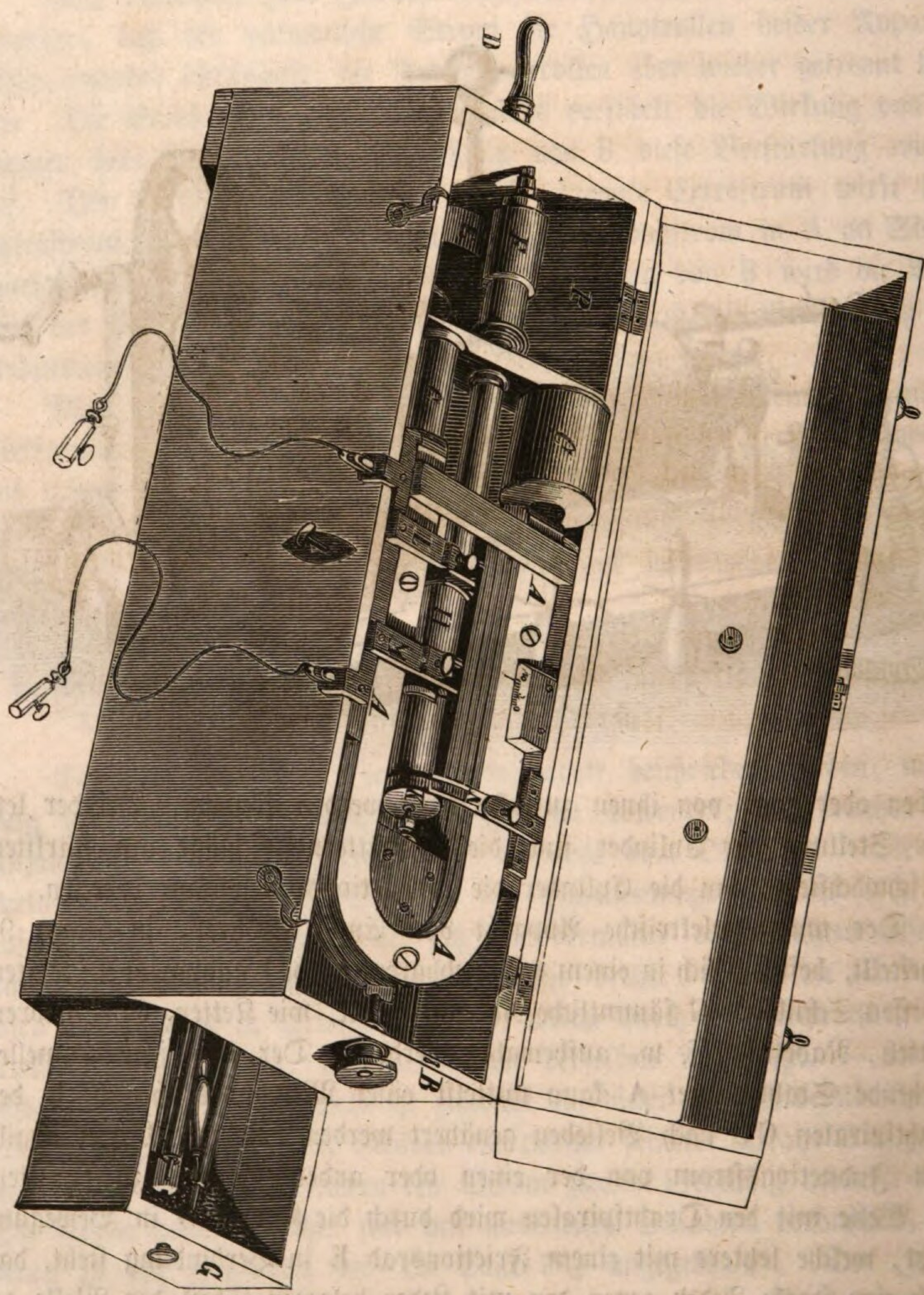
Fig. 95.




schoben oder ganz von ihnen zurückgezogen werden können. Bei der letzteren Stellung der Cylinder sind die Erschütterungsschläge am stärksten, am schwächsten wenn die Cylinder die Inductionsrollen ganz bedecken.

Der magnetoelektrische Apparat von Emil Stöhrer, in Figur 96 dargestellt, befindet sich in einem verschiebbaren, leicht transportabeln Kasten, in dessen Schublade **G** sämmtliche Nebenapparate, wie Ketten, Conductoren, Platten, Nadeln u. s. w. aufbewahrt werden. Der aus fünf Lamellen bestehende Stahlmagnet **A** kann mittelst einer Mikrometerschraube **B** den Drahtspiralen **C C** nach Belieben genähert werden, was ein Mittel abgibt einen Inductionsstrom von der einen oder andern Stärke zu erhalten. Die Welle mit den Drahtspiralen wird durch die Kurbel **D** in Bewegung gesetzt, welche letztere mit einem Frictionsrad **E** in Verbindung steht, das durch eine starke Feder gegen den mit Leder belegten Theil der Welle gedrückt wird. — Die Enden der beiden Drahtspiralen führen zu dem Commutator **H**, welcher aus zwei über einander geschobenen durch Holz isolirten Metallcylindern besteht, auf welchen Segmente von Neusilber angelöthet sind. Der innere Cylinder steht mit dem einen, der äußere Cylinder mit dem andern der beiden Drahtspiralen in Verbindung, deren innere Enden mit einander verbunden sind. — Zwei stählerne geschlitzte Federn **L** und **M** schleifen auf den Segmenten des Commutators in der Art, daß bei jeder Umdrehung der Welle bald der innere bald der äußere Cylinder

Fig. 96.

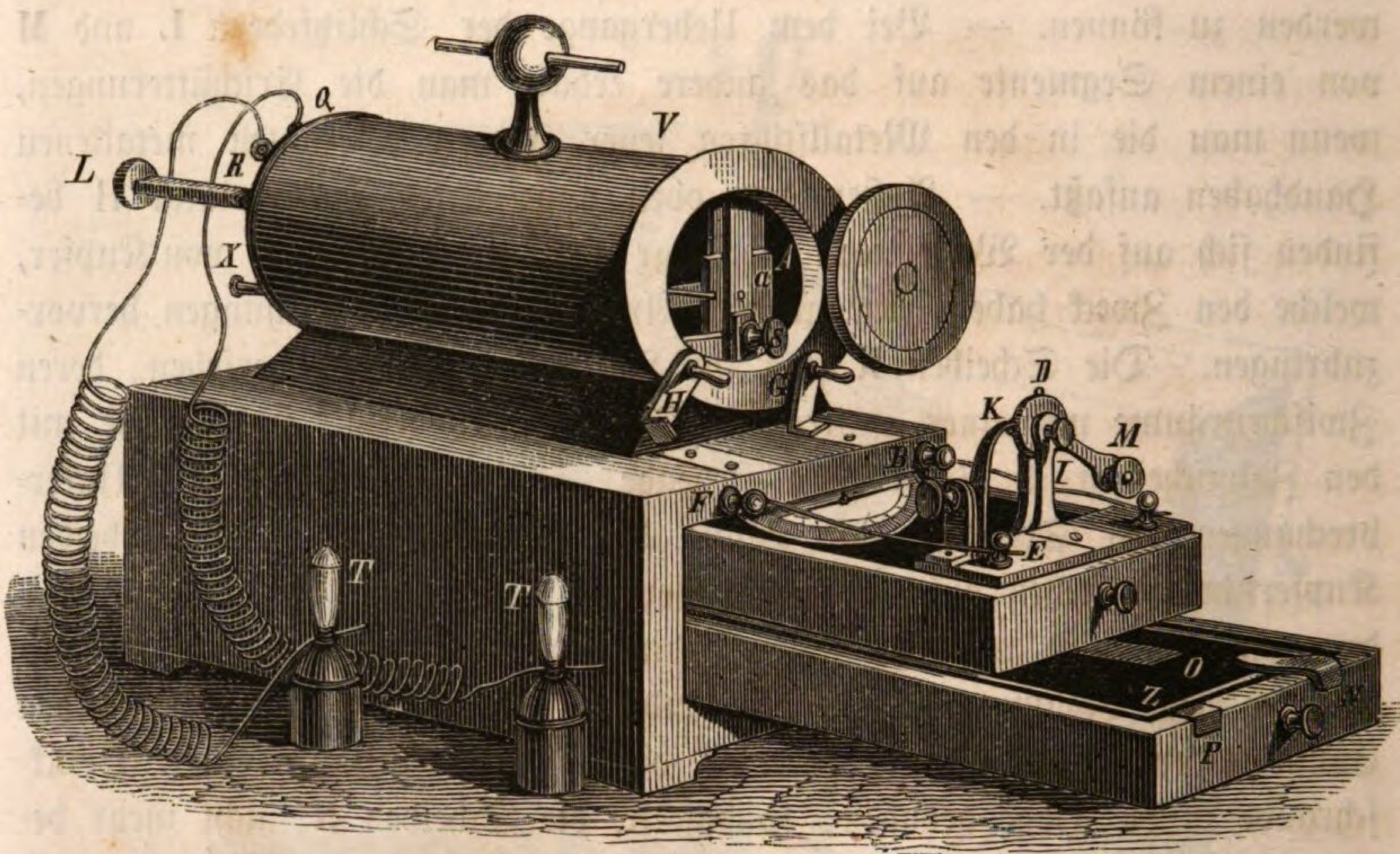


mit jeder Schlitzfeder in metallischen Contact kommt, wodurch der ursprüngliche Richtungswechsel in den Drahtspiralen wieder aufgehoben wird. Der Inductionsstrom ist in dem Augenblicke am stärksten, in welchem die Eisenkerne von den Magnetpolen abgerissen werden; zu gleicher Zeit findet an dieser Stelle die Umkehrung des Stromes statt. Es ist daher nothwendig, daß in demselben Augenblicke die Schlitzfedern von einem Segment auf das andere übergehen müssen. — Der Commutator H ist deßhalb auf

der Welle drehbar, um mittelst eines Schräubchens rechtzeitig festgestellt werden zu können. — Bei dem Uebergange der Schlitzfedern L und M von einem Segmente auf das andere erhält man die Erschütterungen, wenn man die in den Metallstücken jener Federn befestigten metallenen Handhaben anfaßt. — Außer dem oben angeführten Commutator H befinden sich auf der Welle noch ein Paar gezahnte Scheiben K von Kupfer, welche den Zweck haben, eine größere Anzahl von Unterbrechungen hervorzubringen. Die Scheiben K sind zur Hälfte mit Zähnen versehen, deren Zwischenräume mit einer isolirenden Substanz ausgefüllt sind. Die mit den Zahnscheiben in Verbindung stehende Schlitzfeder bewirkt die Unterbrechungen des Stromes und damit die Erschütterungen. Die beiden Kupferscheiben stehen nicht untereinander in metallischer Berührung, sondern die eine wird mit dem innern, die andere mit dem äußern Metallcylinder des Commutators in Verbindung gebracht. — Will man den Commutator H gebrauchen, so wird die Feder N mittelst einer Druckschraube in die Höhe gehoben, so daß sie die Scheiben K nicht mehr berührt. Sollen dagegen die Scheiben K zur Anwendung kommen, so wird die Feder L in die Höhe gelassen. Die Feder M behält stets ihre Lage. Um durch denselben Apparat Inductionsströme von verschiedener Spannung erhalten zu können, werden zwei verschiedene Inductionsspiralen beigegeben, deren eine aus dickerem, die andere aus dünnerem Drahte besteht. Wenn man die Schraube P löst, kann man den Eisenanker mit den Inductionsspiralen wegnehmen und dafür den andern einsetzen.

Den Haupttheil des Voltaelektrischen Inductionsapparats von Duchenne zu medicinischen Zwecken bildet die Inductionsrolle V (Fig. 97), welche aus einem dickeren und einem dünneren Draht zusammengesetzt ist. Diese Rolle ist auf einem mit zwei Schubladen versehenen Holzkasten befestigt, deren obere eine als Galvanometer dienende Bussole enthält und in deren unterer ein möglichst wenig Raum einnehmendes Zinkkohlenelement sich befindet. Das Zink Z hat die Form eines flachen Kastens, der mit einer Lösung von Kochsalz gefüllt ist, in welcher eine viereckige Kohlenplatte liegt von der Masse, wie sie zu den Bunsen'schen Elementen gebraucht wird. Zwei am Kasten befestigte Kupferstreifen P und N, deren einer mit dem Zink, der andere mit der Kohle verbunden ist, bilden die beiden Pole des Elektromotors. — Sind die Schubladen eingeschoben, so stehen P und N mit den unteren Enden der beiden Messingknöpfe E und C in Berührung, von denen zwei Kupferdrähte EF und CB ausgehen, die den Strom durch die Stücke H und G in die Inductorrolle führen und aus derselben zurückleiten. Das Stück H ist beweglich und dient zur Oeffnung der Kette. — Um den Hauptstrom in regelmäßigen Intervallen zu unterbrechen, wird derselbe zu der Metallfeder K geleitet, welche auf

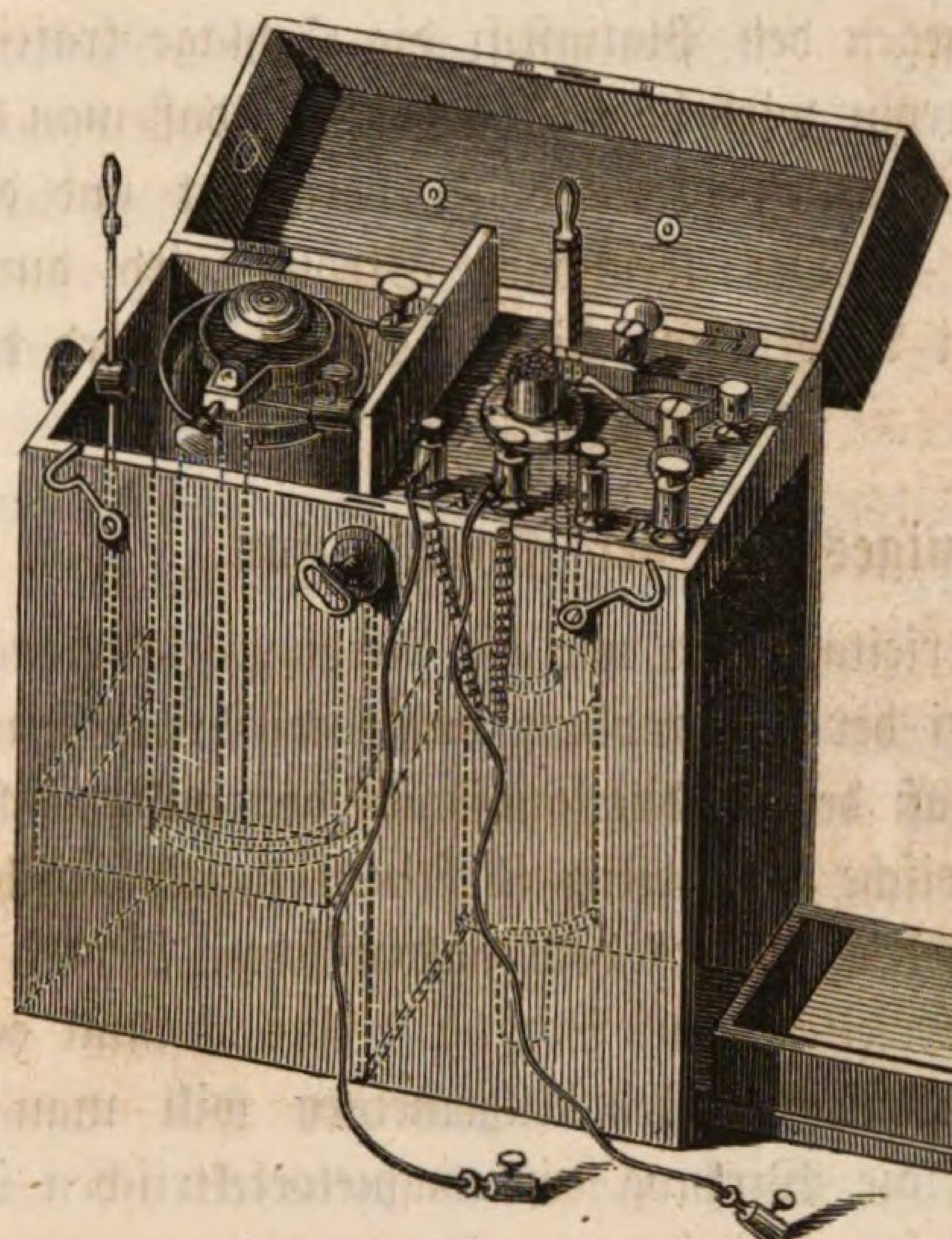
Fig. 97.




dem mit vier metallenen Zähnen versehenen Rade D schleift. Die Zähne communiciren mit dem metallenen Achsenlager J, von welchem der Strom nach der Inductorrolle geführt wird. So lange die Feder auf dem Holze schleift, ist der Strom unterbrochen, der sofort hergestellt wird, wenn sie einen der vier metallenen Zähne berührt. Durch schnelleres oder langsameres Drehen kann man den Strom öfter oder weniger oft unterbrechen. Will man sehr schnelle Umdrehungen erhalten, so läßt man den Strom nicht durch die Feder gehen, sondern durch das um eine Achse drehbare Eisenstück A, welches unter dem Einflusse des Magnetismus eines im Innern der Inductionsrolle befindlichen Eisendrahtbündels in eine schnelle oscillirende Bewegung geräth und so bei jeder Oscillation einmal den Hauptstrom unterbricht und schließt. Die in metallenen Excitatoren T T endigenden Drähte werden an die Enden R und Q der Inductionsspirale befestigt. Um die Stärke des Inductionsstromes zu modificiren, ist auch hier eine über die Inductionsrolle verschiebbare Kupferhülle angebracht, welche um so mehr schwächend wirkt, je weiter sie über die Rolle geschoben wird.

Der Voltaelektrische Inductionsapparat von Stöhrer in Figur 98 dargestellt, besteht aus Kohle und amalgamirtem Zink, ohne Anwendung einer Thonzelle. Das Innere der Kohle mit Sand gefüllt und durch einen Glasstöpsel verschlossen, dient zur Aufnahme einer concentrirten Lösung von Chromsäure in Wasser. Das Zink umgibt die Kohle und ist durch gläserne Isolatoren von der Berührung mit derselben abgehalten.

Fig. 98.



Zink und Kohle sind an der Wand des Apparates durch Klemmschrauben befestigt. Das kupferne Plättchen, welches durch eine Schraube unmittelbar an die Wand der Kohle gepreßt wird, muß an der Berührungsstelle rein erhalten werden. Das Glas, in welches verdünnte Schwefelsäure kommt, ist vertical verschiebbar und läßt sich an jeder Stelle befestigen. Diese Einrichtung hat zum Zweck, die Säure ganz oder nur zum Theil mit dem Erreger in Berührung zu bringen, oder beim gänzlichen Herablassen des Glases alle Wirkung aufzuheben. — Durch die Klemmschrauben, welche das Zink und die Kohle an der Wand festhalten, wird der Strom ins Innere des Kastens durch primäre Spirale und den Unterbrecher geleitet. Der Letztere besteht aus einem leicht beweglichen Eisenstück, welches den Strom unterbricht, wenn es vom Elektromagnet angezogen wird, den Strom aber wieder herstellt, wenn der Elektromagnet seinen Magnetismus verliert. Die primäre und secundäre Spirale befinden sich im Innern des Kastens, die letztere kann durch Aufziehen eines graduirten Stäbchens vertical verschoben werden. — Eine messingene mit Druckschraube versehene Feder lehnt sich gegen den Hammer und drückt denselben mit größerer oder geringerer Kraft, wodurch es möglich wird, die Vibrationen des Hammers nach Belieben zu reguliren. — Zur Ableitung des Stromes zu den betreffenden Körpertheilen dienen vier Schraubenständer. Die mit P bezeichneten geben den primären, die mit S bezeichneten den secundären Strom an. Die Mittel, die Ströme schwächer oder stärker zu machen, sind folgende: Vorerst kann man durch die Stellung

des Glases den Strom verstärken. — Dann vermag man durch stärkeres Drücken des Hammers gegen den Platinstift die Schläge kräftiger zu machen. — Der primäre Strom wird dadurch gedämpft, daß man die Schraubenständer durch den beigegebenen Drahtbügel verbindet und die Spirale mit dem Stäbchen hebt. — Der secundäre Strom wird durch dieselbe Verschiebung regulirt; bei Anwendung dieses Stromes wird der Drahtbügel entfernt.

## 8. Einiges aus der Faradisation.

Die Inductionselektricität wird wie die Reibungselektricität und die galvanische Elektricität bei der Behandlung von Krankheiten benutzt. Mehrere Aerzte behaupten, daß der Inductionsstrom den galvanischen Strom und die gewöhnliche elektrische Entladung in seinen therapeutischen Leistungen übertreffe; dagegen geben Andere dem galvanischen Strom und wieder Andere der Reibungselektricität den Vorzug. Uns kommt es nicht zu, darüber eine Stimme abzugeben. Im Allgemeinen will man die Erfahrung gemacht haben, daß die Wirkung der magnetoelektrischen Ströme auf den Organismus eine tiefer eindringende ist als diejenige der elektrischen Inductionsströme. Hier wollen wir nur einige Worte über die Verfahrungsweise sagen, welche man bei Anwendung der Inductionselektricität in der Medicin einhält; eine Methode, die gewöhnlich Faradisation genannt wird. — Man faradisirt die Haut durch die elektrische Hand oder durch metallische Flächen oder durch metallische Fäden. Bei der Faradisation der Haut durch die elektrische Hand setzt der Operateur einen mit feuchtem Schwamm versehenen Stromgeber auf eine Körperstelle des Kranken, nimmt den andern kolbenförmigen Stromgeber in seine Hand und fährt dann mit der Rückfläche der freien Hand über die zu reitzende möglichst trockene Hautstelle leicht hinweg. — Bei der Faradisation der Haut durch volle metallische Elektroden, deren Form kuglig, cylindrisch, kegelförmig sein kann, wird der metallische Stromgeber auf der zu reizenden Haut hin und hergeführt, und zwar muß dies möglichst schnell geschehen. Nur in den Fällen, wo man eine kräftige Ableitung haben will, wird der spitzig geformte Stromgeber fixirt. — Zur Faradisation der Haut durch metallische Fäden bedient man sich eines aus sehr feinem Metalldraht gebildeten Pinsels, den man entweder schnell über die kranke Hautstelle hinwegführt, oder daselbst fixirt.

Die Form der zu Muskelreizungen geeigneten Stromgeber oder Excitatoren kann sehr verschieden sein. Gewöhnlich ist an einem Holzgriffe ein Metallcylinder angeschraubt, mit welchem die Leitungsschnur in Verbindung steht. — Die eine Art der Muskelfaradisation besteht darin, daß man den Muskel durch elektrische Reizung des ihm angehörigen motori-

schen Nerven zur Contraction bringt, was eine genaue Kenntniß der Lage und des Verlaufs der Nerven voraussetzt. — Die andere Art von Muskelfaradisation besteht darin, daß man den Muskel isolirt zur Contraction bringt, indem man feuchte Elektroden auf die Stellen der befeuchteten Haut setzt, welche der Oberfläche des Muskels entsprechen. — Bei dieser Muskelfaradisation kann man entweder beide Stromgeber auf den Muskel aufsetzen, oder dies nur mit einem Stromgeber thun, während man den andern Stromgeber auf der Oberfläche des Muskels hin und herbewegt.

Jeder Muskel, jeder Nerv besitzt einen bestimmten Grad der Reizbarkeit für die Elektricität. Diese verschiedene Reizbarkeit hängt theils von dem größeren oder geringeren Leitungswiderstand der bedeckenden Haut oder des Muskelgewebes ab, wird theils aber auch durch die Erregbarkeit der Nervenfasern bedingt. An manchen Körperstellen und bei manchen Personen ist die Empfindlichkeit gegen den elektrischen Reiz sehr beträchtlich. — Im Gesicht und im Hals ist die elektrische Sensibilität sehr bedeutend, dagegen sind die Rücken- und Bauchmuskeln wenig empfindlich. Die Muskeln der vorderen Seite des Vorderarmes sind weit empfindlicher als die der hintern; ebenso sind die Muskeln der inneren Seite des Schenkels empfindlicher als die der äußern. — Es ist nicht rathsam, die Faradisation zu lange auszudehnen; doch kommt dabei viel auf den einzelnen Krankheitsfall und die Individualität des Kranken an.

Die rasch oder langsam auf einander folgenden Inductionsströme bringen verschiedene physiologische Wirkungen hervor. Ein langsamer Strom bringt die Muskeln energischer zur Contraction als ein schneller; dagegen wird die muskuläre Sensibilität durch rasche Ströme stärker erregt als durch langsame: die Empfindung kann außerordentlich schmerzhaft, selbst starrkrampfig werden. — Die Sensibilität der Haut wird durch einen schnellen Strom viel mehr erregt als durch einen Strom mit langsamen Unterbrechungen. — Langsame Ströme verursachen nur zitternde Contractionen, weßhalb zur Erzeugung dergleichen Bewegungen magnetoelektrische Apparate ausreichen. — Man kann nach Belieben die Contraction verringern und die Empfindung vermehren, wenn man einen schwachen schnellen Strom anwendet und ebenso umgekehrt. — Bei empfindlichen Personen und an zarten Organen thut man immer gut daran, mit langsam folgenden Unterbrechungen zu operiren.

## V. Weitere Untersuchungen über die inducirten Ströme.

### 1. Aus galvanometrischer Gleichheit ist nicht auf gleiche physiologische Wirkung zu schließen.

Wir wissen, daß der heftig erschütternde Schlag einer Leidener Flasche die Magnetnadel nicht abzulenken vermag, durch Einschaltung eines nassen

Fadens in den Schließungsbogen, wodurch der Leitungswiderstand gesteigert wird, erlangt er erst jene Eigenschaft. Dabei wird die physiologische Wirkung bedeutend vermindert, während sich das blendend weiße Licht des Funkens in ein gelblich rothes verwandelt. — Ebenso verschwindet die Erschütterung vollständig, wenn man die eine Belegung der Flasche in der Hand hält, der andern aber sich mit einer im Dunkeln bläulich leuchtenden Spitze allmählig nähert; auch im letzteren Falle gibt sich eine Wirkung auf die Magnetnadel zu erkennen. — Den hier zur Sprache gebrachten Unterschieden der physiologischen und galvanometrischen Wirkungen derselben Elektricitätsmenge, je nachdem sie in längerer oder kürzerer Zeit einen Leiter durchströmt, stellen sich noch andere an die Seite. Die gewöhnlichen galvanischen Ströme wirken mächtig auf die Magnetnadel ein, sind aber nicht im Stande, starke physiologische Wirkungen hervorzubringen, dagegen veranlassen die Inductionsströme bei geringer galvanischer Wirkung heftige Zuckungen. — Aus einer Verstärkung der physiologischen Effecte dürfen wir demnach nicht auf eine vermehrte galvanometrische Wirkung schließen.

Aehnliche Bestimmungen wie für die physiologische Wirkung des Stromes scheinen auch für seine magnetisirende Eigenschaft bezüglich des gehärteten Stahls zu gelten. Denn entladet man eine Leidner Flasche allmählig durch eine Spitze, so ist der durch den Schließungsdraht in einer Stahlnadel erzeugte Magnetismus viel geringer als bei der gewöhnlichen Entladungsweise durch einen in eine Kugel auslaufenden Auslader. — Wir dürfen daher von zwei in demselben Leiter erregten Strömen, welche am Galvanometer einerlei Ablenkung bewirken, von denen aber der eine eine stärkere physiologische Wirkung zeigt und Stahl stärker magnetisirt als der andere, annehmen, daß in dem ersteren eine gleiche Elektricitätsmenge in kürzerer Zeit bewegt werde, als in dem letzteren. — Ebenso dürfen wir von zwei Strömen, welche bei gleicher physiologischer und magnetisirender Wirkung eine ungleiche Ablenkung am Galvanometer bewirken, demjenigen von ihnen eine größere Geschwindigkeit zuschreiben, welcher den geringern galvanometrischen Effect kundgibt. — Daß die Aussagen des Gefühls über die Stärke eines Stroms nicht immer mit den Anzeigen am Galvanometer übereinstimmen, ergibt sich auch aus folgenden einer längeren Versuchsreihe entnommenen Resultaten.

Mit einer Inductionsspirale von 1 Millimeter dickem Draht erhielten wir beim Oeffnen des Hauptstromes, welcher durch ein Zinkeisenelement erzeugt worden, durch den Inductionsstrom folgende galvanometrische und physiologische Wirkungen:

| Für das Galvanometer. | | Für das Gefühl. |
|---|---|---|
| Ohne Einschiebung | 2° | Sehr schwache Empfindung. |
| Bei Einschiebung eines massiven Eisenkerns | 45° | Merkliche Empfindung bis gegen den Ellenbogen. |
| Mit einem Bündel von 20 gefirnißten Eisendrähten | 23° | Heftige Empfindung bis an den Ellenbogen. |
| Mit einem Bündel von 40 gefirnißten Eisendrähten | 29° | Erschütterung bis in die Hälfte des Oberarms. |
| Mit einem Bündel gefirnißter Eisendrähte, welche mit Kupferdraht umgeben, dessen Enden unverbunden waren | 8° | Heftige Empfindung bis gegen den Ellenbogen. |
| Mit dem nämlichen Bündel, wenn die Enden des Drahts verbunden gewesen | 12° | Merkliche Empfindung bis gegen den Ellenbogen. |
| Mit einem Bündel gefirnißter Eisendrähte, die mit übersponnenem Kupferdraht umgeben, dessen Enden unverbunden blieben | 14° | Starke Erschütterung bis in die Hälfte des Oberarms. |
| Mit dem nämlichen Bündel, wenn die Enden des Drahts verbunden wurden | 16° | Schwache Empfindung im ganzen Unterarm. |

Drähte üben demnach eine stärkere physiologische Wirkung aus, als massive Eisenmassen, während letztere einen größeren galvanometrischen Effect erzeugen als erstere. Zugleich sehen wir, daß mit Kupferdraht umgebene Drahtbündel bei verbundenen Enden einen geringeren physiologischen Effect haben, als mit unverbundenen Enden. Anderweitige auf demselben Wege erhaltene Resultate sind folgende:

| Für das Galvanometer. | | Für das Gefühl. |
|---|---|---|
| Mit einer hohlen Eisenröhre | 11° | Heftige Empfindung bis an den Oberarm. |
| Mit einer aufgeschlitzten Eisenröhre | 12° | Erschütterung bis an den Oberarm. |
| Mit einem in der geschlossenen Röhre eingelegten Drahtbündel | 15° | Heftige Empfindung bis gegen den Ellenbogen. |
| Mit einem in der aufgeschlitzten Röhre eingelegten Drahtbündel | 13° | Starke Erschütterung bis in die Hälfte des Oberarms. |
| Mit 20 Messingdrähten | 1° | Sehr schwache Empfindung im Handgelenk. |
| Mit 40 Messingdrähten | 1°,5 | Schwache Empfindung im Handgelenk. |
| Mit einer geschlossenen Messingröhre | 1° | Schwache Empfindung im Handgelenk. |
| Mit einer aufgeschlitzten Messingröhre | 0,75° | Merkliche Empfindung im Handgelenk. |

Geschlossene Röhren bringen also schwächere physiologische Wirkungen hervor als ungeschlossene, was abermals den Beweis liefert, daß die physiologische Wirkung nicht blos von der Beschaffenheit des Eisens, sondern auch von der mechanischen Discontinuität der Masse abhängt. Ferner sehen wir, daß die die Drahtbündel umgebenden Spiralen wie aufgeschnittene Röhren sich verhalten, wenn die Enden der Spiralen frei sind, dagegen wie geschlossene Röhren, wenn die Enden verbunden werden.

## 2. Dove's Versuche über die durch eine galavanische Kette und Magnete erzeugten Inductionsströme.

Wir gehen jetzt zu den von dem ausgezeichneten Physiker Dove auf dem Gebiete der Inductionselektricität angestellten Untersuchungen über, indem wir mit denjenigen Versuchen den Anfang machen, welche die Vergleichung der inducirenden Wirkung massiver Eisenmassen und Drahtbündel, eiserner Röhren, geschlossener und ungeschlossener leitender Hüllen zum Gegenstand haben. Die in Rede stehenden Versuche wurden auf folgende Art ausgeführt. Zwei auf zwei gleichgeschnittene Holzschrauben gewundene Spirale von 29 Windungen eines ohngefähr 5 Millimeter dicken durch Schellack isolirten Kupferdrahtes von 4 Centimeter innerer Weite bildeten mit einander verbunden, den Schließungsdraht der galvanischen Kette. In die cylindrisch ausgebohrten Holzschrauben wurden die Eisencylinder und Drahtbündel geschoben, welche durch den Kupferdraht elektromagnetisirt auf die auf denselben aufgeschobenen ein Millimeter dicken Inductionsrollen inducirend einwirkten, deren jede eine Drahtlänge von 100 Meter besaß. Diese Inductionsrollen waren kreuzweise verbunden, so daß die Richtung des inducirten Stromes der einen Rolle der Richtung des in der andern erregten entgegengesetzt war. Die freien Enden dieser Inductionsrollen wurden darauf vermittelst Handhaben durch den Körper oder durch ein Galvanometer geschlossen. Die Wirkungen der beiden Inductionsspirale hoben sich gegenseitig auf, wenn in ihre Höhlung kein Eisen eingelegt war. Durch Einschieben eines Eisenstabes in eine der Spiralen wurde dieses Gleichgewicht aber alsbald gestört, das durch allmähliges Hinzufügen von Eisendrähten in die andere Spirale sich wieder herstellen ließ. Die für eine solche Compensation erforderliche Anzahl von Eisenstäben war jedoch für das Galvanometer und das Gefühl nicht dieselbe, wie folgende Zusammenstellung zeigt.

| | Für das Galvanometer. | Für das Gefühl. |
|---|---|---|
| Schmiedeisen | 100 + x | 15; |
| Weicher Strahl | 91 | 9; |
| Harter Stahl | 28 | 7; |
| Graues Roheisen | 27 | 11. |

Bei dem Schmiedeisen reichte die in die Holzschraube hineingehende Anzahl Drähte noch nicht zur Compensation am Galvanometer hin. — Ohne Ausnahme ist also die zur Compensation einer massiven Eisenmasse erforderliche Menge der Drähte für das Galvanometer größer als für das Gefühl; oder anders ausgedrückt, bei gleicher am Galvanometer bestimmter Intensität des Stromes ist die von dem Drahtbündel erzeugte Erschütterung bedeutender als die von der massiven Eisenmasse. — Bemerkenswerth ist's, daß bei starken Strömen mehr Drähte erforderlich sind als bei schwachen, um dem massiven Eisencylinder das Gleichgewicht zu halten. Dagegen bleibt für zwei einander entgegenwirkende massive Eisenstangen auch bei starken Ketten die Compensation bestehen, wenn dieselbe einmal bei schwachen Ketten erreicht worden. — Die für Eisen gefundenen Resultate scheinen gleichfalls für Nickel zu gelten. Denn eine durch eiserne Drähte für das Gefühl compensirte quadratische Stange von Nickel gab am Galvanometer einen Ausschlag im Sinne des durch sie erzeugten Stromes.

Hält eine geschlossene eiserne Röhre hinsichtlich ihrer reducirenden Wirkung am Galvanometer einer der Länge nach aufgeschnittenen das Gleichgewicht, so bleibt dieses Gleichgewicht bestehen, wenn man in die eine oder in die andere eine beliebige Anzahl Drähte legt. Bei Drahtbündeln, welche in geschlossenen oder der Länge nach aufgeschnittenen eisernen Röhren enthalten sind, geht mithin die am Galvanometer gemessene inducirende Wirkung fast nur von der eisernen Hülle aus. — Ganz anders verhält es sich hinsichtlich der physiologischen Wirkung. Hier wird die Wirkung der in der Röhre enthaltenen Drahtbündel fast vernichtet, wenn die umschließende Röhre geschlossen, nicht aber wenn sie aufgeschnitten ist. — Diese für hohle Cylinder von der Stärke eines Flintenlaufs erhaltenen Resultate modificiren sich bei den aus Eisenblech verfertigten Röhren. In Bezug auf das Galvanometer wirken die Drähte durch sie stärker hindurch, zugleich wird ihre Wirkung in den aufgeschnittenen Röhren vermindert. Je stärker aber die eiserne Hülle ist, desto mehr beschränkt sich die am Galvanometer gemessene Wirkung auf dieselbe und eine mechanische Trennung durch Aufschneiden der Röhre hat einen unbedeutenden Einfluß. — Für die physiologische Wirkung bewirkt aber das Aufschneiden auch bei dünnen Wänden eine schwache Steigerung.

Von zwei einander das Gleichgewicht haltenden Drahtbündeln ward das eine in die Holzröhre der magnetisirenden Spirale gelegt, das andere eingeschlossen in eine Pappröhre, welche mit einem mit Seide besponnenen Kupferdraht umwickelt war, so daß die Windungen die ganze Länge des Drahtbündels einschlossen. Die aus der Holzröhre ragenden Enden dieser Spirale wurden äußerlich durch ein Quecksilbergefäß verbunden. Das

galvanometrische Gleichgewicht bleibt bestehen, dagegen schwächt die einhüllende Spirale den physiologischen Effect außerordentlich, so daß man von dem freiliegenden Bündel eine starke Erschütterung erhält. — Eine das Drahtbündel umgebende geschlossene Messingröhre verhält sich analog einer Drahtspirale mit verbundenen Enden; eine der Länge nach aufgeschnittene wie eine Spirale mit unverbundenen Enden. — Durch Vertauschung der Kupferspirale mit einer Spirale von dünnem Neusilberdraht und der Messingröhre mit einer von Neusilber ergeben sich ähnliche Resultate. — Hält man das oben Gesagte nochmals vergleichend zusammen, so kann man sagen, daß die ein Drahtbündel umgebende metallische Hülle wie bei einem massiven eisernen Cylinder die leitende metallische Oberfläche nicht den von ihm inducirten Strom schwächt, sondern denselben verzögert. Eine derartige Verzögerung hat keinen Einfluß auf die Magnetnadel, steigert aber die physiologische Wirkung.

Als Dove ein mit Draht umwickeltes Hufeisen von weichem Eisen mit den Inductionsspiralen verband, fand er, daß bei entgegenwirkenden Strömen, von denen der eine durch den Cylinder von weichem Eisen, der andere durch ein Drahtbündel hervorgebracht wurde, das weiche Hufeisen im Sinne des ersten Stromes magnetisirt ward. — Dagegen fand er, als er die Enden eines in 200 Windungen einen Holzrahmen, in welchem senkrecht auf den magnetischen Meridian die zu magnetisirende Nadel gelegt war, umgebenden mit Seide besponnenen Drahtes mit den kreuzweise verbundenen Inductionsspiralen verband, daß beim Oeffnen der galvanischen Kette das Magnetisiren des Stahls stets in dem Sinne des von dem Drahtbündel erregten Stromes geschah. — Da nun das Elektromagnetisiren des weichen Eisens einen continuirlichen Strom erfordert, das Magnetisiren des Stahls auch bei plötzlichen Entladungen erfolgt; so sehen wir uns wieder zu der Annahme berechtigt, dem durch ein Drahtbündel inducirten Strom eine größere Geschwindigkeit beizulegen, als dem durch einen massiven Eisencylinder in Bewegung versetzten.

Bei dem durch eine magnetoelektrische Maschine gelieferten primären Strom wurden statt der inneren Spirale von dickem Kupferdraht zwei Spiralen von dünnem Draht angewendet, deren jede 100 Meter lang war, und die beiden kreuzweise verbundenen Inductionsrollen darüber geschoben, deren freie Enden vermittelst Handhaben durch den Körper oder durch ein Galvanometer geschlossen werden. Mit dem durch eine solche Maschine gelieferten gleichgerichteten Strome erhielt man Erscheinungen denen analog, welche erhalten wurden, wenn der primäre Strom mittelst einer galvanischen Kette erzeugt worden, wie die hier unten angeführten Resultate zeigen. — Am Galvanometer hatte ein massiver Eisencylinder noch über

140 Eisendrähte das Uebergewicht, während 36 ihm bereits physiologisch das Gleichgewicht hielten. — Durch Herausziehen der einander entgegenwirkenden Stangen ließ sich die physiologische Wirkung der Substanzen ermitteln, mit der am stärksten wirkenden angefangen, folgten sie in nachstehender Ordnung auf einander: eisernes Drahtbündel, Eisenblechröhre, Flintenlauf, weicher Eisencylinder, weicher Stahl, harter Stahl, Nickelstange. — Umgibt man das Drahtbündel mit einer leitenden Hülle, so nimmt die physiologische Wirkung ab, doch in einem viel stärkeren Grade bei einer geschlossenen als bei einer der Länge nach aufgeschnittenen Hülle. — Zwei eiserne Drahtbündel, deren eins in einer geschlossenen, das andere in einer der Länge nach aufgeschnittenen Röhre liegend, sich gegenseitig galvanometrisch compensirten, gaben Erschütterung bei dem Einschalten des menschlichen Körpers.

### 3. Dove's Versuche über die durch Reibungselektricität entstandenen Inductionsströme.

Zur Anstellung der Versuche über den Inductionsstrom der Leidner Flasche bediente sich Dove zweier Spiralen von Kupferdraht, welche auf zwei starke cylindrische Glasröhren in gleichem Sinne gewickelt und ganz in Schellack eingelassen waren, welches auswendig mit Papier überzogen wurde. Jede der Spiralen bildete bei 8 Meter Länge 80 Windungen. Die darauf zu schiebenden kreuzweise mit einander verbundenen Inductionsspiralen sind auf Röhren von Pappe in Schellack eingelassen und haben bei 80 Windnngen jede eine Drahtlänge von etwa 12 Meter. Die Dicke des Drahtes dieser Spiralen ist dieselbe als jene des Drahtes der Schließungsspiralen, nämlich 1,13 Millimeter. — So lange die Inductionsspiralen leer bleiben, findet Stromgleichgewicht statt, welches durch Einführung eines Metalls in eine der compensirenden Spiralen sofort aufgehoben wird. Der dann hervortretende Strom wirkt aber nicht ablenkend auf die Galvanometernadel und magnetisirt weiches Eisen nicht in der Weise, daß eine danebenstehende Magnetnadel abgelenkt würde. — Der durch Harzfiguren geprüfte Strom geht dabei von der leeren Spirale aus, zum Beweise, daß die bewirkte Erschütterung eine Folge des schwächenden Einflusses des eingeführten Metalles auf die Spirale ist, in welcher es liegt. — Diese Schwächung wird desto bedeutender, je besser leitend das in eine der Spiralen hineingelegte Metall ist.

Die Wirksamkeit eines massiven Messingcylinders wird vermindert durch einen daran angebrachten Längenschnitt. — Bündel von Messingdrähten wirken schwächer hemmend als eine geschlossene Röhre von geringerer Masse bei gleichem äußeren Umfang der Röhre und des Bündels. — Schmiedeisen, weicher und harter Stahl, Gußeisen in Form massiver

Cylinder oder geschlossener Röhren, schwächen ebenfalls die physiologische Wirkung des inducirten Stromes. Denn der durch Harzfiguren geprüfte Strom ging von der leeren Spirale aus.

Die physiologische Wirkung wird hingegen verstärkt durch der Länge nach aufgeschnittene eiserne Röhren, und besonders durch gut isolirte Drahtbündel von Eisen. Denn der durch Harzfiguren geprüfte Strom ging von der Spirale aus, in welcher das Drahtbündel lag. Hier zeigt sich also ein wesentlicher Unterschied in der inducirenden Wirkung des Eisens, je nachdem dasselbe durch den Strom einer galvanischen Kette oder den Entladungsstrom einer Leidner Flasche magnetisirt wird. Die inducirende Wirkung des spiralförmigen Schließungsdrahtes einer galvanischen Kette auf einen Nebendraht wird nämlich stärker, wenn Eisen in beliebiger Form hineingelegt wird. Dagegen wirkt der Schließungsdraht einer Leidner Flasche schwächer inducirend auf einen Nebendraht, wenn eine massive Eisenstange in ihn hineingelegt wird, als wenn er leer ist; aber stärker, wenn das Eisen in Form eines Drahtbündels angewendet wird.

Wirkt bei Induction durch galvanisches Magnetisiren ein Drahtbündel in der einen der compensirenden Nebenspiralen einem massiven Eisencylinder in der andern Spirale entgegen, so erhält man den Unterschied zweier Wirkungen, bei Magnetisiren durch Reibungselektricität aber die Summe. Im ersteren Falle kann man die Wirkung durch Eisendrähte, im letzteren durch Messingdrähte neutralisiren.

In Beziehung auf das Magnetisiren des Stahls sind die Erscheinungen ganz dieselben, mag das Magnetisiren durch galvanische oder Reibungselektricität hervorgebracht werden. Der Unterschied, welcher in Beziehung auf die physiologischen Effecte sich zeigt, findet hier nicht statt. Denn Eisen in jeder beliebigen Form verstärkt die magnetisirende Wirkung des von dem Schließungsdrahte im Nebendraht inducirten Stromes. Dagegen verstärkt das Eisen durch die Entladung einer Leidner Flasche magnetisirt, die physiologische Wirkung der Spirale nur unter der Bedingung, daß es in Drähte aufgelöst ist, oder eine aufgeschnittene Röhre bildet: hingegen thut das Eisen dies in jeder Form, wenn es durch einen galvanischen Strom magnetisirt wurde.

Bei dem Magnetisiren durch Reibungselektricität schwächen sowohl eiserne Drähte als eiserne Stäbe den thermischen Effect des von dem Schließungsdrahte im Nebendrahte inducirten Stroms, verhalten sich also wie unmagnetische Metalle. Ist hingegen der primäre magnetisirende Strom ein galvanischer, so verstärken Eisenmassen und Bündel von Drähten den thermischen Effect des inducirten Stromes.

Durch die vergleichende Zusammenstellung der hier betrachteten Erscheinungen ergibt sich folgende gemeinsame Uebersicht. Ist der primäre

Strom ein galvanischer oder ein magnetoelektrischer, so bleibt bei dem Auflösen des Eisens in Drahtbündel die galvanometrische Wirkung des inducirten Stromes dieselbe, sowie die Eigenschaft dieses Stromes, weiches Eisen zu magnetisiren; seine physiologischen Wirkungen, die bei seiner Unterbrechung entstehenden Funken und der durch ihn im Stahl hervorgerufene Magnetismus sind aber viel kräftiger. — Umgibt man das Drahtbündel mit einer unaufgeschnittenen Röhre oder einer Spirale mit verbundenen Enden, so verhält es sich wie eine massive Eisenmasse. Ist die Röhre der Länge nach aufgeschnitten oder die gewickelte Spirale mit unverbundenen Enden, so wirkt das Bündel fast so kräftig wie ein offen liegendes. — Trennt man die Eisenmasse durch senkrecht auf die Längenrichtung gelegte Schnitte in Scheiben, so schwächt man besonders die physiologische Wirkung des von dieser Scheibensäule inducirten Stromes.

Die eben angeführten Unterschiede zwischen eisernen Stäben und eisernen Drahtbündeln treten am charakteristischsten hervor, wenn der primäre Strom von einer Leidner Flasche herrührt. Eine Drahtspirale mit Eisenkern inducirt nämlich einen in seinen physiologischen, magnetisirenden, galvanometrischen und thermischen Wirkungen stärkeren Strom in einer sie umgebenden Nebenspirale als die leere Drahtspirale, wenn der primäre Strom ein galvanischer ist. Die Verstärkung der physiologischen Wirkung durch Auflösung dieses Eisenkernes in Drähte und die dabei entstehenden lebhafteren Funken des inducirten Stromes und der durch ihn im Stahl stärker erzeugte Magnetismus sind daher eine Steigerung der von dem massiven Eisen bereits gleichfalls ausgeübten Wirkungen. — Die inducirende Wirkung der von dem Strome einer Leidener Flasche durchflossenen leeren Spirale ist dagegen, was die physiologischen Wirkungen des Nebenstromes anlangt, größer als wenn ein massiver Eisenkern in derselben enthalten ist; aber kleiner als diejenige, welche ein darin befindliches eisernes Drahtbündel oder eine aufgeschnittene eiserne Röhre hervorbringt. Der thermische Effect des Nebenstromes wird durch Eisen jeder Form, sowie durch unmagnetische Metalle geschwächt; die Eigenschaft Stahl zu magnetisiren dagegen durch Eisen jeder beliebigen Form verstärkt, durch unmagnetische Metalle aber vermindert.

Dove erklärt sich die hier betrachteten Erscheinungen folgendermaßen. Der primäre elektrische Strom erzeugt in dem Moment seines Entstehens in dem Eisen einen Inductionsstrom, während seiner Dauer magnetische Polarität, welche sich langsamer entwickelt als jener Strom, im Moment seines Aufhörens wieder einen Inductionsstrom. Dieser zweite dem primären Strom gleichgerichtete Inductionsstrom wirkt dem durch den Magnetismus erzeugten entgegen. Hatte, wie es bei galvanischem Magnetisiren der Fall ist, der Magnetismus Zeit sich zu entwickeln, so überwiegt die

Wirkung desselben die entgegengesetzte des bei dem Aufhören des primären Stromes erzeugten elektrischen. Hatte dagegen, wie es bei der Entladung einer Leidner Flasche geschieht, der Magnetismus nicht Zeit sich vollständig zu entwickeln; so überwiegt der bei dem Aufhören des primären Stromes erzeugte elektrische die Wirkung des Magnetismus. Das Zerstören dieser elektrischen Ströme durch Auflösen der Masse in Drähte oder durch die Hemmung ihrer Bildung in einer schlecht leitenden Masse kehrt daher hier die Wirkung vollständig um, indem es den Ausschlag auf Seiten des verschwindenden Magnetismus bringt. Die Gleichgewichtsgrenze beider ist aber für die thermischen, physiologischen und magnetisirenden Wirkungen verschieden: für die magnetisirenden Wirkungen waltet der verschwindende Magnetismus vor, wenn für die thermischen der erzeugte elektrische Strom überwiegt, während die physiologischen Erscheinungen auf beide Seiten dieser Grenze fallen. Nach dieser Ansicht hieße dann Eisen elektromagnetisiren, die vorhandenen elektrischen Ströme nicht blos richten, sondern auch noch andere erzeugen, da die Wirkung der letzteren die der ersteren hemmt.

## 4. Classification der elektrischen Ströme. — Magnetismus der sogenannten unmagnetischen Metalle.

Ordnet man die elektrischen Ströme nach dem Verhältniß der schwächern galvanometrischen und stärkeren physiologischen Wirkung, so möchten sie etwa folgende Reihen bilden:

1) Strom der sich entladenden Leidner Flasche;
2) Ströme inducirt durch eiserne Drahtbündel vermittelst Reibungselektricität;
3) Ströme inducirt durch massives Eisen mittelst Reibungselektricität;
4) Ströme inducirt durch Drahtbündel, wenn der Strom ein galvanischer oder magnetoelektrischer;
5) Ströme durch massives Eisen inducirt, wenn der primäre Strom ein galvanischer oder magnetoelektrischer;
6) Strom einer magnetoelektrischen Maschine mit leerem Drahtanker;
7) Strom derselben Maschine mit umwickeltem Anker;
8) Galvanischer Strom.

In dieser Reihe bilden die verschiedenen Inductionsströme gewissermaßen Mittelglieder, durch welche die beiden äußersten in ihren Eigenschaften am meisten von einander abweichenden Glieder als besondere Theile eines umfassenderen Ganzen verbunden erscheinen.

Dove hat die Inductionsströme benutzt, um die verschiedenen Metalle in Bezug auf ihre Magnetisirbarkeit zu prüfen. Geht nämlich, wenn ein Metall in eine von zwei einander compensirenden Spiralen gelegt wird, der

Strom von der gefüllten Spirale aus, so ist das Metall ein magnetisches, dagegen ein unmagnetisches, wenn der Strom von der leeren ausgeht. — In Form eines Cylinders schwächte Messing den Strom seiner Spirale, denn der resultirende Strom ging von der leeren aus. Bei Anwendung dünner gut gefirnißter Messingdrähte ging dagegen der Strom von der vollen Spirale aus: in dieser Form wurde daher das frühere unmagnetische Messing magnetisch. — Kupfer, Zinn, Antimon und Quecksilber zeigten merklichen Magnetismus, schwächer Zink und Blei. Die Drähte der Metalle waren mit Schellack überzogen, während Quecksilber in oben und unten versiegelte Glasröhren eingeschlossen war. — Eine Röhre von Messing wirkte unmagnetisch, dagegen wirkten gezogene Röhren von Zinn und Blei stark magnetisch.

Bei den Versuchen ward die Batterie durch eine selbstentladende Flasche stets auf eine gleiche Ladung gebracht. Uebrigens ist der Magnetismus dieser Metalle mit dem des Eisens verglichen jederzeit so schwach, daß ein einziger Eisendraht gleicher Dicke ein ganzes Bündel des andern Metalls in seiner magnetisirenden Wirkung übertrifft. — Die magnetische Reihenfolge kann also nicht durch Compensation vermittelst Eisendrähten bestimmt werden, da sie eine zu starke magnetisirende Wirkung besitzen: am passendsten eignen sich hierzu Messingdrähte. — Bei Anwendung des galvanischen Stroms gaben massive Cylinder, Drahtbündel und Röhren aus andern Metallen eine kaum merkbare Schwächung ihrer Spirale. — Der galvanische Strom ist deßhalb weniger geeignet, als der einer sich entladenden Leidner Flasche, wenn es sich darum handelt, den Magnetismus der sogenannten unmagnetischen Metalle hervortreten zu lassen.

# Vierter Abschnitt.

# Thermoelektricität oder Thermomagnetismus.

## 1. Elektrische Polarität der Mineralien (Pyroelektricität).

Viele krystallinische Mineralien besitzen die Eigenschaft durch Erwärmung in den elektrischen Zustand zu gerathen. Diese Eigenschaft gibt sich am auffallendsten am Turmalin zu erkennen, an welchem sie auch zuerst beobachtet worden ist. Die Untersuchungen mit dem Turmalin haben zu folgenden Resultaten geführt. — 1) Erwärmt man einen Turmalinkrystall, so zeigt er an dem einen Ende seiner krystallographischen Hauptachse die

positive, an dem andern Ende die negative Elektricität: das eine Ende wird mithin von einer geriebenen Siegellackstange angezogen, das andere abgestoßen. Am bequemsten eignet sich zu diesem Versuche ein länglicher, säulenförmiger Krystall. — 2) Zerbricht man einen solchen elektrisch gemachten Turmalin in der Mitte, wo keine Elektricität sich zeigt, so geben sich an jedem Bruchstücke die zwei entgegengesetzten Elektricitäten kund: der Turmalin deutet also eine Beschaffenheit an, welche mit jener eines Stahlmagnets verglichen werden kann. — 3) Für jeden Turmalin gibt es zwei Temperaturgrenzen, innerhalb welcher die elektrischen Erscheinungen auftreten. Jenseits dieser Grenzen zeigt der Turmalin keine elektrische Polarität: diese Temperaturgrenzen betragen gewöhnlich 10° und 150°. — 4) So lange die Temperatur steigt, bleibt das eine Ende positiv, das andere negativ elektrisch. Wenn darauf der Turmalin erkaltet, verschwindet für einen Augenblick alle Elektricität; alsdann kehrt sich die Polarität um, d. h. die Stelle, welche beim Erwärmen positiv elektrisch war, wird beim Abkühlen negativ, und die bisherige negative wird positiv. Diese Lage der Pole ändert sich nicht weiter, so lange die Temperatur sinkt.

Um die hier besprochenen elektrischen Erscheinungen des Turmalins zu untersuchen, kann man den Krystall horizontal schwebend an einem feinen Seidenfaden aufhängen oder ihn in ein an einem ungedrehten Faden aufgehängtes Papierschiffchen legen. — Haüy legte den Krystall auf eine Unterlage, welche auf einer Stahlspitze ruhte, so daß die Längenachse des Krystalls in einer horizontalen Ebene sich leicht drehen konnte. — Hankel erwärmte den Krystall auf einer metallenen Unterlage durch eine Spirituslampe, wobei alle Theile des Krystalls in Metallfeilspähne gehüllt waren, mit Ausnahme der Stelle, deren Elektricität untersucht werden sollte. Zur Wahrnehmung derselben bediente sich Hankel eines Bohnenberger'schen Elektrometers, an dessen Knopf ein dünner Draht befestigt ward, der mit dem andern Ende den Krystall berührte. — Beiläufig ist doch zu bemerken, daß die letzterwähnte Methode nicht die gewünschte Sicherheit und Genauigkeit darbietet. Auch läßt sich nur bei starker Elektricität der geprüften Stelle durch Berührung eines dünnen Drahtes an dem Elektroskop ein merklicher Ausschlag erwarten.

In minderem Grade als am Turmalin ist die Eigenschaft sich bei Temperaturänderungen zu polarisiren auch an mehreren anderen Mineralien wahrgenommen worden. Dergleichen Krystalle sind: Boracit, Topas, Axinit, Beryll, Granat, Kalkspath, Amethyst. — Unter den künstlich bereiteten Salzen hat man die Eigenschaft durch Temperaturänderungen elektrische Spannung hervorzurufen, an folgenden aufgefunden: Seignettesalz, Eisenvitriol, Bittersalz, Zucker. — Einige Krystalle, wie der Topas, haben zwei positive und zwei negative Pole; andere wie der

Boracit, vier positive und vier negative. Eine Linie, welche zwei Pole verbindet, heißt elektrische Achse des Krystalls. — Gewöhnlich wird die Eigenschaft der Krystalle bei Aenderung ihrer Temperatur die beiden Elektricitätsarten an bestimmten Stellen hervortreten zu lassen, Pyroelektricität genannt; während man mit dem Namen Thermoelektricität oder Thermomagnetismus die galvanischen Wirkungen erwärmter Metalle zu bezeichnen pflegt.

Die Pyroelektricität der Krystalle scheint auf einer eigenthümlichen Beschaffenheit ihrer kleinsten Theilchen zu beruhen. Denn zerreibt man einen derartigen pyroelektrischen Krystall zu einem sehr feinen Staub und bringt ihn dann auf eine Glasplatte; so gleitet es bei Neigung des Glases herab, ohne daß ein Zeichen der Adhäsion mit dem Glase oder der Theilchen unter einander sich zu erkennen gibt. Wird aber das Glas hinreichend erwärmt, so bleibt das Pulver an dem Glase haften und hängt sich massenförmig an jede trockene Substanz an, mit welcher man darin herumrührt.

## 2. Thermoelektrische Ströme in dem Schließungskreise von verschiedenen Metallen. — Thermoelektrische Spannungsreihe.

Die Wärme vermag ebenfalls elektrische Ströme zu erzeugen; man nennt dergleichen durch die Wärme in einem geschlossenen Leiter erregten Ströme thermoelektrische, um sie von den galvanischen zu unterscheiden, die auch hydroelektrische heißen. Im Jahr 1821 hat zuerst Seebeck nachgewiesen, daß bei einem aus zwei verschiedenen Metallen geschlossenen Bogen durch Erwärmen oder Erkalten einer von den zwei Berührungsstellen ein elektrischer Strom entsteht. Um diese neue Wirkung zu zeigen, bediente sich Seebeck eines Prismas von Wismuth, an dessen Enden eine zweimal gebogene Kupferplatte angelöthet war. Er stellte dann diesen Metallrahmen in der Ebene des magnetischen Meridians auf und brachte innerhalb desselben eine empfindliche Magnetnadel an. Wenn der ganze Schließungskreis die nämliche Temperatur hat, bleibt die Nadel in Ruhe; sie wird aber abgelenkt, wenn man eine Löthstelle erwärmt. Die Richtung der Ablenkung zeigt einen Strom an, der an der erwärmten Stelle vom Wismuth zum Kupfer geht. Der Ablenkungswinkel erscheint desto größer, je stärker man die Löthstelle erhitzt. — Wird dagegen die eine Löthstelle durch Auflegung von Eis oder auf andere Weise erkaltet, so erfolgt die Ablenkung der Magnetnadel nach der entgegengesetzten Richtung, was auf einen Strom hinweist, dessen Richtung dem früheren entgegengesetzt ist. — Wenn die beiden Löthstellen gleich stark erwärmt werden, findet kein elektrischer Strom mehr statt.

Durch Erwärmung oder Erkaltung wird also die elektromotorische Kraft an der Berührungsstelle der Metalle geändert, d. h. entweder verstärkt oder geschwächt. Daraus folgt zugleich, daß die thermoelektrischen Ströme von der Differenz zweier elektromotorischen Kräfte herrühren, deßhalb auch bedeutend schwächer sind als die hydroelektrischen. Zur Nachweisung dergleichen schwachen Ströme darf man daher keinen Multiplicator mit langem dünnen Draht gebrauchen, sondern nur einen Multiplicator nehmen, der aus wenigen Windungen eines möglichst dicken Kupferdrahts besteht. — Will man mit einem solchen Galvanometer oder Thermomultiplicator die thermoelektrischen Wirkungen nachweisen, so verbindet man mit den beiden Enden desselben die zwei zu prüfenden Metalle und bringt dann deren freie Enden in Berührung und erwärmt die Berührungsstelle: der thermoelektrische Strom wird die Multiplicatorwindung durchlaufen und die Nadel ablenken. — Man hat auf diese Weise die verschiedenen Metalle auf ihr thermoelektrisches Verhalten untersucht und so gefunden, daß die elektromotorische Kraft der Metalle bei derselben Temperaturerhöhung verschieden ist. In Bezug auf ihr thermoelektrisches Verhalten lassen sich die Metalle in eine Reihe zusammenstellen, in welcher sie so auf einander folgen, daß bei Erwärmung der Berührungsstelle an dieser erhitzten Löthstelle der Strom immer vom nachfolgenden zum vorhergehenden übergeht und bei derselben Temperaturdifferenz desto stärker ist, je weiter die Metalle in der Reihe von einander abstehen. — Die thermoelektrische Spannungsreihe ist, wenn man mit dem positivsten Metalle anfängt und mit dem negativsten aufhört, folgende: Antimon, Arsenik, Eisen, Silber, Zink, Blei, Zinn, Kupfer, Messing, Gold, Platin, Kobalt, Nickel, Quecksilber, Neusilber, Wismuth.

Den stärksten Strom erhält man demnach bei einer Combination von Antimon und Wismuth; aber auch Verbindungen aus Kupfer und Wismuth, aus Eisen und Neusilber sind ziemlich wirksam. — Uebrigens vermag schon eine geringe Beimischung eines anderen Metalles, eine Aenderung in der Härte oder ein sonstiger Unterschied in der Bearbeitung einem Metalle eine andere Stelle in der Spannungsreihe zu geben. — Auch gilt diese Reihe nicht für alle Temperaturen, sondern im Allgemeinen nur bis zu einem gewissen Grade der Erwärmung der Berührungsstelle. Bei stärkerer Erhitzung kehren viele Metalle ihre gegenseitige Stellung in der Spannungsreihe um.

Hieraus folgt zugleich, daß die Stromstärke im Allgemeinen der Zunahme der Temperatur an der Löthstelle nicht direct proportional ist. Beim Eisen nnd Kupfer z. B. ist die Stromstärke der Temperatur proportional, wenn die Temperatur der Löthstelle nicht höher als 140° C steigt. Ueber diese Grenze hinaus nimmt die Stromstärke zuerst lang-

samer zu als die Temperatur; alsdann nimmt sie ab und ist bei 300° kaum noch merklich; bei einer noch höheren Temperatur findet gar kein Strom mehr statt; endlich kommt ein entgegengesetzter elektrischer Strom zum Vorschein, wenn die Temperatur noch höher steigt.

### 3. Thermosäule von Nobili. — Thermoelektrische Batterien.

Eine Verbindung zweier Metalle um einen elektrischen Strom durch Erwärmung der Löthstelle hervorzubringen, ist eine einfache thermoelektrische Kette. Eine Verbindung mehrerer dergleichen einfachen Ketten nennt man eine thermoelektrische Säule. Unter den thermoelektrischen Säulen, welche dazu dienen, schon bei ganz geringer Temperaturdifferenz der Löthstellen eine Ablenkung der Magnetnadel zu bewirken, ist ohnstreitig die von Nobili construirte, als die sinnreichste und empfindlichste hervorzuheben. — Sie besteht aus 25 bis 35 Paaren von kleinen Wismuth- und Antimonstäbchen, die 32 Millimeter lang, 2,5 Millimeter dick und 1 Millimeter breit sind, an ihren Enden abwechselnd zusammengelöthet, daß alle Löthstellen von ungerader Ordnung auf der einen Seite und alle Löthstellen von gerader Ordnung auf der andern Seite liegen und das Ganze ein prismatisches Bündel bildet. Die Zwischenräume zwischen den einzelnen Stäben und Reihen werden durch isolirende Schichten, gewöhnlich durch Gips von einander getrennt. Die Säule wird in eine mit Schellackfirniß überzogene Kupferhülle gelegt, auf deren oberen Theil zwei isolirte Metallsäulchen befestigt sind, die mit den Enden der Wismuth-Antimonkette in Verbindung stehen und dazu dienen, die Drahtenden des Multiplicators mit den Polen der Säule zu verbinden. — Um Wärmestrahlen von der Seite abzuhalten, schiebt man über jedes Ende der Säule ein hohles Prisma von Kupfer, das 4—5 Centimeter lang und innen geschwärzt ist. Jedes dieser Prismen hat an seinem äußern Ende einen Deckel, den man nach Belieben öffnet oder schließt. — Dem Instrument ist noch ein conischer Reflector von Metall beigegeben, durch dessen Anwendung die Empfindlichkeit des Apparates bedeutend gesteigert wird. Um eine Idee von der erstaunlichen Empfindlichkeit dieses thermoelektrischen Thermometers zu geben, reicht es hin zu sagen, daß es die Wärme des menschlichen Körpers in einer Entfernung von 4 Meter angibt.

Um die zwischen der Ablenkung der Magnetnadel und der Stärke des elektrischen Stromes bestehende Relation aufzufinden, hat Melloni folgendes Verfahren eingehalten. Zunächst hatte er sich überzeugt, daß die zwischen 0° und 20° von seinem thermoelektrischen Apparate angegebene Ablenkung der Stärke des Stroms fast proportional war. Denn nachdem er von den beiden Enden des Apparates successive das eine einer ersten entfernten Wärmequelle aussetzte, welche in einer bestimmten Rich-

tung eine Ablenkung von 20° bewirkte, und das andere einer zweiten Wärmequelle darbot, welche in entgegengesetzter Richtung eine Ablenkung von 10° hervorbrachte, fand er, daß bei gleichzeitiger Einwirkung beider Wärmequellen die Magnetnadel genau um 10°, d. h. um den Unterschied zwischen den beiden ersten Ablenkungen aus ihrer Ruhelage entfernt wurde. — Um die Nadel von 10° bis 20° zu bringen, ist mithin eine ebenso große Kraft nöthig, als man anwenden müßte, um sie die zehn ersten Grade beschreiben zu lassen. Eine solche Proportionalität hörte aber auf für Ablenkungen über 20° gültig zu sein; denn wenn z. B. die zwei Wärmequellen entgegengesetzte Ablenkungen von 44° und 42° hervorzurufen vermochten, falls sie einzeln auf die thermoelektrische Kette wirkten; so gab ihre gleichzeitige Einwirkung eine Ablenkung von 8°. Daraus folgt, daß die Kraft, welche erforderlich ist, um die Nadel von 42° auf 44° zu bringen, viermal größer als diejenige ist, welche man anwenden müßte, um sie von 0° auf 2° zu bringen.

Durch dergleichen Beobachtungen hat Melloni folgende Tabelle für die Beziehung zwischen den Graden des Galvanometers und den Kräften erhalten, welche die Ablenkung der Magnetnadel verursachen:

| Grade. | Kräfte. | Grade. | Kräfte. | Grade. | Kräfte. |
|---|---|---|---|---|---|
| 20° | 20 | 29° | 33,4 | 38° | 55,4 |
| 21 | 21,1 | 30 | 35,3 | 39 | 58,5 |
| 22 | 22,3 | 31 | 37,4 | 40 | 61,9 |
| 23 | 23,7 | 32 | 39,6 | 41 | 65,5 |
| 24 | 25,1 | 33 | 41,8 | 42 | 69,3 |
| 25 | 26,6 | 34 | 44,1 | 43 | 73,2 |
| 26 | 28,2 | 35 | 46,7 | 44 | 78,0 |
| 27 | 29,9 | 36 | 49,5 | 45 | 83,2 |
| 28 | 31,6 | 37 | 52,4 | | |

Als Einheit gilt die Kraft, welche die Nadel den ersten Grad der Scale beschreiben läßt. Die Kräfte, welche den Ablenkungen 16° und 36° entsprechen, verhalten sich demnach wie 16 : 49,5. — Man wird leicht einsehen, daß die Relation zwischen den Graden des Multiplicators und den ablenkenden Kräften von der Empfindlichkeit der Nadel und der Vertheilung des Metalldrahts auf dem Rahmen abhängen muß, mithin jene Relation mit der Construction des Instruments veränderlich ist.

Damit die schwingende Magnetnadel, oder vielmehr das astatische Nadelsystem bei den Schwingungen schneller zur Ruhe komme, brachte Melloni unter die Nadel eine Kupferscheibe, auf welcher die Gradeintheilung sich befand. Mit einem derartigen thermoelektrischen Apparate hat Melloni die Eigenschaften der strahlenden Wärme untersucht und gefunden, daß dieselbe bei der Fortpflanzung, der Reflexion der Brechung und

bei dem Durchgange durch verschiedene starre und flüssige Körper den nämlichen Gesetzen wie das Licht unterworfen ist: in der Lehre von der Bewegung der Wärme werden diese interessanten und wichtigen Entdeckungen von Melloni ausführlich besprochen werden.

Um möglichst starke, thermoelektrische Ströme zu erhalten, verfertigt man eine Säule aus einer großen Anzahl von Elementen aus dicken Wismuth- und Antimonstäben, welche man abwechselnd an einander löthet. Die Zwischenräume füllt man mit Gyps aus und umgibt das Ganze mit einer Metallhülle. Den untern Theil erhitzt man durch die strahlende Wärme eines glühenden Eisens oder setzt denselben in eine metallene Schale, in welcher Wasser mittelst einer Weingeistlampe zum Sieden gebracht wird; den oberen Theil erkältet man durch Eis oder durch Eis und Salz. Am Wismuthende auf einer Seite und am Antimonende auf der andern Seite der Säule sind Klemmschrauben zur Befestigung der Leitungsdrähte angebracht. — Sehr wirksame thermoelektrische Ketten hat man in neuerer Zeit aus Neusilber und Eisen construirt, deren Stellung vertical ist; die unteren Stellen werden durch Eis erkältet und die oberen erwärmt, indem man darauf ein mit glühenden Kohlen gefülltes Gefäß stellt.

Eine andere Form der thermoelektrischen Säule ist folgende. Ein Element derselben besteht aus einem horizontalen Wismuthcylinder von 2 Centimeter Durchmesser und 15 Centimeter Länge mit zwei verticalen 5 Centimeter langen Ansätzen, an deren jedem ein Kupferdraht von 2 Millimeter Durchmesser und 50 Centimeter Länge angelöthet ist. Zur Herstellung der thermoelektrischen Säule werden nun mehrere dergleichen Elemente mit einander verbunden und die verticalen Theile in untergestellte Gläser getaucht, welche abwechselnd mit siedendem Wasser und schmelzendem Eise gefüllt sind.

Die Verbindung mehrerer thermoelektrischer Elemente bewirkt eine Verstärkung der thermoelektrischen Ströme in ähnlicher Weise, wie dies bei der Volta'schen Säule der Fall ist. Als Beleg dafür dient folgender Versuch. Man lege eine aus drei Stäben von Wismuth und drei Stäben von Antimon gebildete thermoelektrische Kette horizontal auf zwei Unterlagen, so daß eine Seite des Sechsecks die Richtung der Magnetnadel erhält und stelle dann möglichst nahe unter diese Seite eine Bussole. Erhitzt man nun eine Löthstelle, so bekommt man eine merkliche Ablenkung der Bussole. Diese Ablenkung nimmt bedeutend zu, wenn man zwei einander nicht zunächst liegende Löthstellen erwärmt und wird noch stärker, wenn man die drei abwechselnden Löthstellen erhitzt. — Bei Vermehrung der Zahl der Elemente wird die Ablenkung der Nadel noch beträchtlicher; woraus folgt, daß der thermoelektrische Effect mit der Zahl der Elemente zunimmt.

Man bilde eine thermoelektrische Kette in Gestalt eines Rechtecks, so daß zwei Seiten aus Antimon und zwei aus Wismuth an einander haften; lege dann den Apparat mit zwei seiner Seiten in der Richtung der Magnetnadel horizontal auf zwei Unterlagen und stelle auf eine dieser Seiten die Bussole. Bei Auflegung von Eis auf eine der beiden die ungleichartigen Metalle verbindenden Löthstellen wird eine Ablenkung von 24° sich zeigen. — Hierauf bilde man eine thermoelektrische Kette in Gestalt eines Rechtecks, dessen Umfang aber die doppelte Länge von der des vorhin gebrauchten Apparates hat. Durch Auflegen von Eis auf einer seiner Löthstellen ergibt sich nur eine Ablenkung von 16°. Daraus müssen wir schließen, daß der thermoelektrische Effect in dem Maße schwächer wird, als die Länge der Leitung zunimmt. — Um daher kräftige thermoelektrische Wirkungen auf die Magnetnadel zu erhalten, muß man die Elemente möglichst klein nehmen.

## 4. Wirkungen der thermoelektrischen Ströme.

Die thermoelektrischen Ströme geben sich nicht blos durch ihre Wirkung auf die Magnetnadel zu erkennen, sondern sie vermögen ebenfalls alle übrigen Wirkungen der hydroelektrischen Ströme hervorzubringen, wenn auch im minderen Grade. So wird der in die Höhlung eines isolirten Drahtgewindes gelegte Eisenkern magnetisch, wenn man die thermoelektrische Batterie durch dieses Gewinde schließt. — Durch den Strom einer großen Säule von 30 Wismuth-Antimonelementen erhielt man einen Elektromagneten, welcher über 40 Kilogrammes trug. — Mit einer Säule aus 25 Wismuth-Antimonelementen erzeugte man einen glänzenden Funken, wenn die Kette durch einen spiralförmigen, langen, um einen weichen Eisenstab gewundenen Draht geschlossen wurde. — Dasselbe ward mit einer einfachen Antimon-Wismuthkette bewirkt, die man durch einen zusammengerollten Kupferstreifen schloß, dessen Windungen durch einen isolirenden Stoff getrennt waren.

Mit einer Thermosäule von 200 Wismuth-Antimonelementen hat man an einem Luftthermometer eine bemerkliche Temperaturerhöhung erzeugt. In einem höheren Grade wurde dies erzielt mit einer Platineisensäule von 120 Elementen. — Als man von den Polen einer Thermosäule von 40 Paaren aus Wismuth und Antimon silberne Leitungsdrähte in eine Salmiaklösung führte, fand man, daß der eine Streifen angelaufen war, der andere aber nicht. Ward der angelaufene Streifen in Wasser abgespült und in Tageslicht gelegt, so schwärzte er sich, zum Beweise, daß an dem positiven Ende Chlor frei wurde und Chlorsilber gebildet worden ist. — Wurde eine Platineisensäule aus 240 Elementen mittelst gesäuertem Wasser geschlossen, so ergab sich eine entschiedene Zersetzung des Wassers.

Die thermoelektrische Säule bringt keinen merklichen Geschmack hervor, wenn man sie auf die Zunge wirken läßt; dagegen erzeugt sie an einem präparirten Frosch nicht unmerkliche Zuckungen. — Schließt man mit feuchten Händen die in Handhaben auslaufenden Enden der einem Elektromagnet aufgeschobenen Inductionsspiralen, während die Enden der Inductorspirale mit den Polen einer Thermosäule verbunden sind; so erhält man beim Oeffnen der Kette einen sehr empfindlichen elektrischen Schlag. — Der Schlag eines Drahtbündels verschwindet, wenn es in einer geschlossenen Messingröhre liegt. Hingegen ist die galvanometrische Wirkung in beiden Fällen dieselbe. Die Erschütterung ist auch hier intensiver, wenn das Oeffnen der Säule schnell dem Schließen folgt. — Der durch den Schließungsdraht einer Thermosäule inducirte Strom verhält sich mithin genau so wie der durch den Schließungsdraht einer galvanischen Kette hervorgebrachte.

Die Thermoelektricität ist demnach von der gewöhnlichen, der Volta'schen und der Inductionselektricität nicht in ihrem Wesen, sondern nur dem Grade nach verschieden. Bei der Strömung entwickelt sie Wärme, erzeugt sie Magnetismus, bewirkt sie chemische Zersetzungen, bringt sie physiologische Wirkungen hervor, wie die galvanische Elektricität, wenn auch in minder auffallendem Grade. — Nur diejenigen Wirkungen der Thermoelektricität sind äußerst schwach oder vielleicht gar nicht vorhanden, welche von einem gewissen Grade der Intensität abhängen. Denn so viel ich weiß, hat man bis jetzt noch nicht die geringste Wirkung eines thermoelektrischen Stromes selbst auf die empfindlichsten Elektrometer wahrgenommen. Wahrscheinlich wird die Reibungselektricität auf einen ähnlichen Grad von Intensität herabgebracht ebenfalls nur die Wirkungen der Thermoelektricität hervorbringen, wie sie bei verminderter Spannung galvanische Wirkungen erzeugt. — Daß die Metalle eher als andere Substanzen thermoelektrische Ströme liefern, ließ sich erwarten, da sie im Vergleich zu anderen Stoffen ein viel größeres Leitungsvermögen besitzen. Im Uebrigen hat man auch mit anderen Materialien dergleichen thermoelektrische Ströme hervorgerufen. Verbindet man z. B. mit jedem Ende eines Multiplicatordrahtes einen trockenen Thoncylinder, erhitzt einen derselben am äußersten Ende und berührt ihn hierauf mit dem zweiten, so gibt sich sofort ein vom warmen zum kalten Cylinder gehender elektrischer Strom zu erkennen. — Wir dürfen daher überall, wo in gut geschlossenen Leitern Temperaturunterschiede stattfinden, mit großer Wahrscheinlichkeit auf das Vorhandensein elektrischer Ströme schließen. Insbesondere könnte dies von dem Innern der Erde gelten, deren durch den veränderlichen Stand der Sonne bedingte Ströme die erdmagnetische Kraft auf mancherlei Art vielleicht zu modificiren vermögend sind.

## 5. Thermoelektrische Ströme in einem einzigen Metalle.

Seebeck machte die Entdeckung, daß auch in einem aus einem einzigen Metalle bestehenden Schließungsbogen durch Erwärmung elektrische Ströme erzeugt werden, welche die Magnetnadel abzulenken vermögen. Wenn man einen homogenen Platindraht zum Theil spiralförmig zusammen windet und seine Enden mit den Enden eines Multiplicatordrahtes verbindet und hierauf den Platindraht in der Nähe der Spirale durch eine Spiritusflamme erhitzt, so gibt sich ein von der Wärmequelle nach der Spirale gehender thermoelektrischer Strom zu erkennen. — Löthet man zwei schraubenförmig gewundene Platindrähte an die Enden eines Multiplicatordrahtes, erhitzt dann den einen und legt ihn an den andern an, so erhält man einen elektrischen Strom, welcher von der erhitzten Spirale nach der kalten geht. — Wiederholt man die Versuche mit anderen Metallen, so ergeben sich ähnliche Resultate; nur bei leicht oxydirbaren Metallen, wie Zink und Eisen, geht der elektrische Strom von dem kalten zum warmen Theile. — Auch hat man gefunden, daß hohe Temperaturen die Richtung und Stärke des Stromes verändern.

Nach der Ansicht einiger Physiker rührt der elektrische Strom von einer molecularen Aenderung her, welche der Draht an der erhitzten Stelle erlitten hat. Eine Stütze erhielt diese Ansicht in folgenden Thatsachen. Man bringe zwei blos in der Härte von einander verschiedene Drähte in Berührung und erwärme dann dieselben an den Stellen, wo die harten und weichen Theile an einander stoßen. Es gibt sich stets ein elektrischer Strom zu erkennen, dessen Richtung und Stärke einerseits durch die Natur des Metalls und anderseits dadurch bedingt wird, je nachdem die Erwärmung an einem harten oder weichen Theile stattgefunden hatte.

Andere Physiker wollen den elektrischen Strom der Verschiedenheit der Geschwindigkeit zuschreiben, mit welcher sich die Wärme in den verschiedenen Theilen des Schließungsbogens fortpflanzt. Dagegen spricht nachstehender directer von Magnus angestellter Versuch. Zwei gleich lange Stücke desselben Drahtes, von denen das eine hart und das andere weich war, wurden, nachdem beiden ein gleicher Grad von Politur ertheilt worden, an dem einen ihrer Enden gleichmäßig erhitzt. Er fand, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in dem harten gleich jener in dem weichen Drahtstücke war. Der thermoelektrische Strom kann also keineswegs als eine Folge ungleicher Quantitäten von Wärme angesehen werden, welche in den harten und weichen Theilen der Drähte fortgepflanzt wurden.

Magnus hat mit einem Metalldrahte, der durchgehends einerlei Härte besaß, an der Oberfläche aber zum Theil polirt, zum Theil rauh war, ebenfalls keinen elektrischen Strom erhalten, als er die Stelle erhitzte, an

welcher der Zustand der Oberfläche sich änderte. — Dasselbe Resultat ergab sich, als er mit Metalldrähten operirte, deren Oberfläche stellenweise mit nichtleitenden Substanzen, wie Lampenruß, Guttapercha bedeckt wurde. Wegen des ungleichen Wärmestrahlungsvermögens an der Oberfläche mußten durch die verschiedenen Querschnitte jener Drähte ungleiche Quantitäten von Wärme fließen; woraus abermals folgt, daß der Grund des elektrischen Stromes nicht in dem Unterschied der Geschwindigkeiten zu suchen ist, mit denen die Wärme zur Rechten und zur Linken der erhitzten Stelle sich fortpflanzt. — Nimmt man dagegen zu dergleichen Versuchen solche Drähte, deren Oberfläche stellenweise mit einer Oxydschichte bedeckt ist, so entwickelt sich bei Erhöhung der Temperatur alsbald ein elektrischer Strom, zum Beweise, daß die Einschaltung zweier heterogenen Leiter in den Schließungsbogen die Ursache des thermoelektrischen Stromes ist.

### 6. Erwärmung und Erkaltung durch den Strom hervorgebracht.

Erwärmung und Erkaltung der Berührungsstelle zweier Metalle vermögen in dem Schließungskreise elektrische Ströme hervorzubringen: es wirft sich hiernach die Frage auf, ob umgekehrt elektrische Ströme keine verschiedene Temperaturen an der Berührungsstelle eines solchen Schließungskreises bewirken können. — Peltier hat diese Frage durch ein sehr sinnreiches Verfahren zu beantworten gewußt. Er legte ein Wismuthstäbchen und ein Antimonstäbchen kreuzweise über einander und löthete sie in der Mitte fest; hierauf verband er zwei benachbarte Arme mit den Polen einer schwachen Volta'schen Kette und die beiden andern mit einem Galvanometer. — Wenn der Strom vom Wismuth durch die Löthstelle zum Antimon geht, zeigt die Ablenkung der Galvanometernadel einen thermoelektrischen Strom an, welcher durch eine Temperaturerniedrigung der Löthstelle hervorgebracht wird. — Läuft der Strom in umgekehrter Richtung vom Antimon durch die Löthstelle zum Wismuth, so zeigt der Ausschlag der Galvanometernadel einen thermoelektrischen Strom an, welcher durch Erwärmung der Löthstelle erzeugt wird.

Die Erkaltung ist so merkwürdig, daß Peltier einen directen Beweis dafür zu haben wünschte. Er kittete deßhalb zwei mit ihren Enden an einander gelötheten Stäbchen von Wismuth und Antimon in eine Glaskugel ein, welche die Fortsetzung einer unter rechten Winkeln gebogenen Glasröhre bildete, deren anderer Schenkel ebenfalls oben in eine Glaskugel endigte. In der Röhre befand sich gefärbter Weingeist. — Geht nun der galvanische Strom vom Antimon zum Wismuth, so sinkt die Flüssigkeit in der Röhre, deren Kugel die Stäbchen enthält, was eine Erwärmung der Löthstelle anzeigt. Hat der Strom die entgegengesetzte Richtung, so steigt die Flüssigkeit in der Röhre, in deren Kugel die Metall-

stäbchen sich befinden, zum Beweise, daß an der Löthstelle eine Erkaltung eingetreten ist.

Lenz hat sogar einen bis auf 0° erkalteten Wassertropfen durch den thermoelektrischen Strom zum Gefrieren gebracht. Er machte zu diesem Behufe an der Löthstelle der mit einander verbundenen Antimon- und Wismuthstäbe eine Vertiefung, welche er mit Wasser füllte. Hierauf legte er die Stäbe auf schmelzenden Schnee, mit welchem er auch die übrigen Theile derselben bedeckte, die Löthstelle ausgenommen. Dadurch wurde eine Temperatur von 0° erzielt, welche auch das in das Wasser der Löthstelle eingetauche Thermometer anzeigte. Als hierauf die Stäbe zwischen die Pole eines Volta'schen Elementes eingeschaltet wurden, so daß der Strom vom Wismuth zum Antimon ging, fand er das Wasser in der Vertiefung der Löthstelle nach einigen Minuten vollständig erfroren und das Thermometer auf — 4° herabgestiegen.

Mit einem aus Wismuth und Antimon angefertigten Kreuze, an dessen Arme Kupferdrähte angelöthet waren, erhielt Dove, als er eine kleine einfache galvanische Kette von Kupfer und Zink anwendete, an einem empfindlichen Galvanometer folgende Resultate.

Zink mit Antimon, Kupfer mit Wismuth verbunden, der Strom vom Wismuth znm Antimon gehend:

| Zeit, welche die galvanische Kette gewirkt. | Ablenkung der Nadel. |
|---|---|
| 6″ | — 10° |
| 25″ | — 17° |
| 1′ | — 18° |
| 2′ | — 23° |

Kupfer mit Antimon, Zink mit Wismuth verbunden, Strom vom Antimon zum Wismuth gehend:

| Zeit. | Ablenkung. |
|---|---|
| 6″ | + 14° |
| 25″ | + 31° |
| 1′ | + 47° |
| 2′ | + 51° |

Der Strom bewirkt eine Erkaltung, wenn er vom Wismuth zum Antimon geht; dagegen eine Erwärmung, wenn er in entgegengesetzter Richtung fließt.

# Fünfter Abschnitt.

# Diamagnetismus.

## I. Einwirkung des Magnetismus auf nicht magnetische Körper.

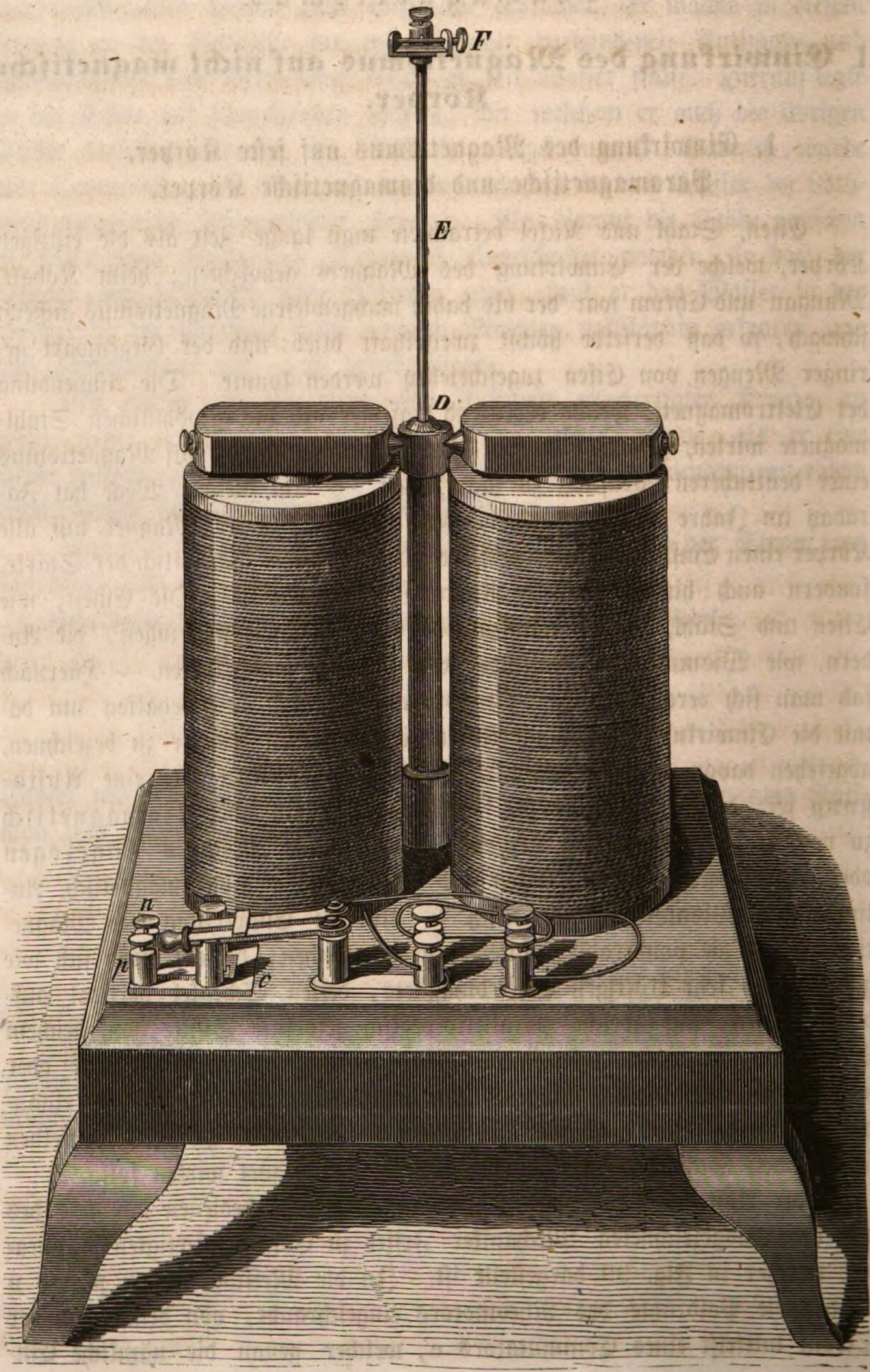
### 1. Einwirkung des Magnetismus auf feste Körper. — Paramagnetische und diamagnetische Körper.

Eisen, Stahl und Nickel betrachtete man lange Zeit als die einzigen Körper, welche der Einwirkung des Magnets gehorchten; beim Kobalt, Mangan und Chrom war der bis dahin nachgewiesene Magnetismus äußerst schwach, so daß derselbe höchst zweifelhaft blieb und der Gegenwart geringer Mengen von Eisen zugeschrieben werden konnte. Die Anwendung der Elektromagnete, welche bedeutend kräftiger als die gewöhnlichen Stahlmagnete wirken, gestattete es erst, die Körper in Bezug auf Magnetismus einer deutlicheren Prüfung zu unterziehen. — Auf diesem Wege hat Faraday im Jahre 1845 gefunden, daß ein sehr starker Magnet auf alle Körper einen Einfluß ausübt, derselbe aber nicht nur hinsichtlich der Stärke, sondern auch hinsichtlich der Richtung verschieden ist. Die Einen, wie Eisen und Stahl, werden nämlich von dem Magnete angezogen, die Andern, wie Wismuth und Antimon, von demselben abgestoßen. — Hiernach sah man sich veranlaßt, das Beiwort magnetisch beizubehalten um damit die Einwirkung des Magnets auf irgend einen Körper zu bezeichnen, abgesehen davon, ob diese Einwirkung eine Anziehung oder eine Abstoßung sei; dagegen die Körper paramagnetisch oder diamagnetisch zu nennen, je nachdem sie von den Polen eines Magnets angezogen oder abgestoßen werden: Eisen und Stahl sind also paramagnetisch, Antimon und Wismuth diamagnetisch. — Um die Einwirkung des Magnetismus auf die ponderable Materie zu untersuchen, bedient man sich wie gesagt eines sehr kräftigen Elektromagnets, dessen Schenkel vertical aufwärts stehen, auf welche parallelipipedisch geformte Stücke von weichem Eisen mit zugespitzten Ansatzstücken gelegt werden, die einander mehr oder weniger genähert werden können. Die Entfernung der Spitzen von einander muß stets etwas größer sein als die Länge des zwischen denselben schwebenden Stäbchens, auf welches der Elektromagnet wirken soll.

Zur Anstellung der hierher gehörigen Versuche bedienen wir uns des von dem ausgezeichneten Mechaniker Fessel zu Cöln verfertigten Apparates, welcher in Fig. 99 dargestellt ist. In die Messingsäulchen p und n werden die Poldrähte des Rheomotors eingeschraubt, von denen aus der Strom mittelst eines Commutators c, welcher genau die nämliche Ein-

richtung wie der in Figur 51 beschriebene hat, durch die Windungen eines 24 Centimeter langen und 6 Centimeter dicken Elektromagnets in der einen

Fig. 99.



oder der andern Richtung hindurchgeleitet wird. In einer Holzfassung D steckt der Messingstab E mit einem horizontalen drehbaren Stäbchen F, an welchem der Cocon oder Seidenfaden hängt, der den zu untersuchenden Körper trägt. Durch Drehen dieses Stäbchens vermag man den angehängten Körper nach Belieben zu heben und zu senken. Zugleich läßt sich der Messingstab E um seine verticale Achse umdrehen, wodurch es möglich wird, das Stäbchen F in eine bestimmte Lage zu bringen. — Dies vorausgeschickt, hänge man zuerst ein Eisenstäbchen zwischen den beiden Polspitzen des Elektromagnets auf und schließe die Kette, nachdem das Stäbchen vorher in einer beliebigen Lage zur Ruhe gekommen ist. Das Stäbchen geräth sofort in Schwingungen und erhält bald eine stabile Gleichgewichtslage, in welcher seine Längenachse in die Verbindungslinie der Pole fällt und welche die axiale genannt wird. Entfernt man das Stäbchen aus dieser Gleichgewichtslage, so kehrt es nach einigen Schwingungen immer wieder dahin zurück. Oeffnet man die Kette, so oscillirt das Stäbchen wieder langsam um seine frühere durch die Torsion des Fadens bedingte Gleichgewichtsstellung.

Hierauf bringe man in ähnlicher Weise ein Wismuthstäbchen zwischen die beiden Polspitzen des Elektromagnets. Das Stäbchen geräth, wenn die Kette geschlossen ist, um seinen Aufhängepunkt in Schwingungen und stellt sich zuletzt mit seiner Längenachse senkrecht gegen die Verbindungslinie der Magnetpole, welche Stellung die äquatoriale genannt wird. Wenn man das Stäbchen aus dieser Lage entfernt und dem einen oder andern Pol nähert, wird es von demselben abgestoßen und gelangt stets in der äquatorialen Lage wieder zur Ruhe. Sobald man die Kette öffnet, oscillirt das Stäbchen wieder langsam um seine frühere Gleichgewichtsstellung. — Die Abstoßung des Wismuths durch die Magnetpole zeigt recht deutlich folgender Versuch. Man hänge ein Wismuthkügelchen zwischen den beiden Polspitzen des Elektromagnets auf. Beim Schließen der Kette wird das Kügelchen seitwärts zwischen den beiden Polspitzen herausgetrieben, so daß der Faden, an welchem das Kügelchen hängt, merklich von seiner verticalen Richtung abweicht. Beim Oeffnen der Kette fällt das Kügelchen wieder in seine frühere Lage zurück. — Hängt man das Kügelchen so auf, daß sein Abstand von einem Pole kleiner ist als der vom andern, so findet man, daß das Kügelchen von dem einen wie dem andern Pole abgestoßen wird.

Auf diese Art hat man gefunden, daß alle feste Körper der Einwirkung des Magnetismus unterliegen. Angezogen und axial stellen sich zwischen zwei ungleichnamigen Polen wie das weiche Eisen folgende Metalle: Nickel, Kobalt, Mangan, Chrom, Palladium und Platin. — Dagegen werden abgestoßen und stellen sich äquatorial wie das Wismuth folgende

Metalle: Antimon, Zink, Zinn, Blei, Silber, Kupfer, Gold und Arsenik. Unter den nicht metallischen Körpern fand man folgende Stoffe schwach paramagnetisch: Papier, Siegellack, Porzellan, Flusspath, Turmalin, Graphit, Schellack und Holzkohle. — Mehr oder weniger stark unmagnetisch haben sich erwiesen folgende: Glas, Bergkrystall, Kalkspath, Phosphor, Schwefel, Holz, Elfenbein, Fleisch u. s. w.

Plücker beobachtete die eigenthümliche Erscheinung, daß ein Kohlenstäbchen zwischen die Polspitzen eines Elektromagnets gebracht bei einem schwachen Strom sich axial stellte; bei stärkeren Strömen aber die äquatoriale Stellung einnahm. — Durch Zusammenschmelzen von Staniol mit Wismuth verfertigte Plücker ein Stäbchen, welches sich gleichfalls zwischen schwachen Magnetpolen axial, zwischen starken äquatorial richtete. Müller erklärt sich diese Erscheinung folgendermaßen. Kohle und Staniol sind der Hauptmasse nach diamagnetischer Natur, eine geringe Beimischung eines paramagnetischen Körpers enthaltend. Bei geringer magnetisirender Kraft gelangt jene kleine Masse des paramagnetischen Körpers alsbald zu ihrem magnetischen Maximum; was bewirkt, daß die paramagnetische Erregung die diamagnetische Erregung überwiegt und das Gemisch paramagnetisch erscheint. — Bei stärkerem Magnetismus dagegen übertrifft wegen der größeren Masse des diamagnetischen Bestandtheils die diamagnetische Erregung die paramagnetische Erregung, welche nicht weiter gesteigert werden konnte.

Daß der Diamagnetismus bei zunehmender Stärke des Elektromagnets rascher wächst als der Magnetismus, hat Plücker durch directe Abwägungen bestätigt. Eine leere Messingschale wurde an drei etwa 200 Millimeter langen Seidenfäden an einer Wage aufgehängt, die hinreichend fein war, um ein Milligramm anzugeben; hierauf wurde die Wage adjustirt, nachdem die Schale den beiden Ankern des Elektromagnets hinlänglich nahe gebracht worden. Nach Erregung des Magnetismus ward die Schale angezogen: das Gewicht, welches in die an dem andern Ende des Wagebalkens aufgehängte Schale gelegt werden mußte, um die Schale von den Ankern abzureißen, konnte als Maß für die magnetische Kraft gelten, mit der die Schale angezogen wurde. Als der Reihe nach der Elektromagnet durch 2,3 und 10 Elemente erregt wurde, ergaben sich für die Anziehung folgende Werthe: 0,69 Grammes; 1,13 Grammes; 2,15 Grammes. Als hierauf Plücker 115 Grammes Wismuth in die Schale legte, fand er für die Anziehung nachstehende Werthe: 0,55 Grammes; 0,71 Grammes; 0,48 Grammes; wonach sich für die Abstoßung folgende Werthe ergaben: 0,14 Gr.; 0,42 Gr.; 1,67 Gr. Der Magnetismus der Messingschale ist mithin in dem Verhältniß von 1 zu 3 angewachsen, während der Dia-

magnetismus des Wismuths beinahe in dem Verhältniß von 1 zu 12 zugenommen hat.

Ein ähnliches Verfahren hat Plücker eingehalten, um den Einfluß kennen zu lernen, welchen die Wärme auf den Magnetismus und Diamagnetismus ausübt. Eine mit gewärmtem Sand gefüllte Messingschale, in welcher ein kleines Eisenblech lag, ward an die Wage gehängt und äquilibrirt über die beiden Anker des Elektromagnets gebracht. Alsdann wurde der Strom einer galvanischen Kette erregt und das Gewicht bestimmt, welches zum Abreißen der Schale nöthig war. Dergleichen Gewichtsbestimmungen wurden während der allmähligen Erkaltung fortwährend wiederholt. Die von 2 zu 2 Minuten zum Abreißen erforderlichen Gewichte waren folgende: 153,7; 158,25; 159,8; 161,7; 162,4; 163,16 Grammes. Daraus folgt, daß der Magnetismus des Eisenbleches bei der Erkaltung bis zur Stubentemperatur fortwährend zunimmt.

Um den Einfluß zu bestimmen, den die Wärme auf den Diamagnetismus ausübt, schmolz Plücker 116 Grammes Wismuth in eine Messingschale, welche er dann über die Magnetpole des Elektromagnets brachte, dessen Magnetismus durch 8 Grove'sche Elemente erregt wurde. Nachdem vorher die Anziehung der leeren Schale 1,97 Grammes gefunden worden, wurde in der angegebenen Weise die Anziehung mit dem geschmolzenen Wismuth während des Erkaltens desselben bestimmt, ohne die Kette zu öffnen und mit diesen Bestimmungen fortgefahren, bis dasselbe die Stubentemperatur angenommen hatte. Die zum Abreißen nöthigen Gewichte waren folgende: 0,95; 0,76; 0,41; 0,37; 0,35 Grammes. Aus diesem Versuche geht hervor, daß der Diamagnetismus bei der Erkaltung zunimmt; mithin Magnetismus und Diamagnetismus in gleicher Weise durch die Wärme modificirt werden.

## 2. Einwirkung des Magnetismus auf Flüssigkeiten. — Specifischer Magnetismus.

Um die Einwirkung des Magnetismus auf Flüssigkeiten zu prüfen, kann man dieselben in dünnwandige Glasröhren füllen und solche dann zwischen den Polen des Elektromagnets aufhängen. An und für sich stellt sich die Glasröhre in die äquatoriale Lage; wenn die Röhre aber sehr dünnwandig ist, so wird die diamagnetische Wirkung auf dieselbe nur sehr gering sein im Vergleich gegen die magnetische Wirkung auf die darin enthaltene Flüssigkeit. Auf diese Weise hat man gefunden, daß die Flüssigkeiten sämmtlich ebenfalls vom Magnetismus beeinflußt werden: die einen eine axiale, die anderen eine äquatoriale Stellung einnehmen. — Man kann die Flüssigkeiten auch in Kugeln von sehr dünnem Glase einschließen und sie dem Pole eines Elektromagnets nähern: auf diesem Wege hat sich er-

geben, daß die einen sich wie das Eisen verhalten, d. h. angezogen werden, die andern sich wie das Wismuth verhalten, d. h. abgestoßen werden. — Auf solche Weise fand man paramagnetisch: schwefelsaures Eisenoxydul, Eisenchlorür, Eisenchlorid und salpetersaures Nickeloxyd; dagegen diamagnetisch: Quecksilber, Wasser, Alkohol und Terpentinöl.

Ein anderes Verfahren hat Plücker angewendet, um die Wirkung der Magnete auf Flüssigkeiten anschaulich zu machen. Er setzt auf die beiden Halbanker des Elektromagnets ein Uhrglas, in welches er die zu untersuchende Flüssigkeit gießt. Sind die Halbanker einander sehr genähert, so erhebt sich nach der Schließung des Stroms die paramagnetische Flüssigkeit in der Mitte; dagegen bildet sich über jeder Polkante eine solche Erhöhung, wenn die Halbanker weiter von einander entfernt sind: die Flüssigkeit findet sich gewissermaßen nach der axialen Richtung hin angezogen. — Bei einer diamagnetischen Flüssigkeit bilden sich an den Polflächen keine Erhöhungen, sondern Vertiefungen; die Flüssigkeit wird mithin von den Punkten der stärksten Wirkung nach der äquatorialen Richtung hin getrieben. — Stärkere Wirkungen erhält man, wenn man statt des Uhrglases ein Glimmerblatt auf die 3 Millimeter von einander entfernten Halbanker legt und kleinere Quantitäten von Flüssigkeit auf das Glimmerblatt bringt.

Um die Größe der Einwirkung zu bestimmen, welche Flüssigkeiten durch Magnetpole erfahren, füllte Plücker mit derselben ein Uhrglas mit abgeschliffenem Rande bis über diesen Rand, worauf er die Flüssigkeit mit einem als Deckel dienenden Glase abstrich. Alsdann brachte er das Uhrglas mit seinem Inhalte und seinem Deckel in einen dünnen Ring von Messing, der an drei Seidenfäden einer feinen Wage aufgehängt wurde. Das leere Uhrglas nebst dem Messingringe zeigte sich magnetisch und wurde mit einer Kraft von 0,4 Grammes angezogen, als der Elektromagnet von 6 Platinelementen erregt ward. Als das Uhrglas mit Wasser gefüllt wurde, betrug die Anziehung nur noch 0,28 Grammes; mithin ergab sich für die diamagnetische Abstoßung des Wassers der Werth 0,12 Grammes. — Hierauf bereitete Plücker vier Lösungen von Eisenchlorür, in denen bei gleichem Volumen die Mengen der gleichmäßig vertheilten paramagnetischen Substanz sich wie 8 : 4 : 2 : 1 verhielten. — Die zum Abziehen erforderlichen Gewichte waren für das Uhrglas

| | | |
|---|---|---|
| mit der ersten Lösung | 3,94 | Grammes; |
| mit der zweiten Lösung | 2,14 | „ |
| mit der dritten Lösung | 1,23 | „ |
| mit der vierten Lösung | 0,72 | „ |

Erwägen wir nun, daß bei den drei letzten Lösungen die Volumina des hinzukommenden Wassers $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{7}{8}$ des ganzen Volumens betragen, so erhalten wir für die entsprechenden diamagnetischen Abstoßungen des Wassers

in jenen Lösungen folgende Werthe: 0,06; 0,09; 0,105 Grammes. Hiernach ergeben sich für die Anziehung der ursprünglichen Eisenchlorürlösung nachstehende Werthe:

| | | |
|---|---|---|
| erste Lösung: | 3,94 — 0,4 | = 3,54 Grammes; |
| zweite „ | 2,14 — 0,4 + 0,06 | = 1,8 „ |
| dritte „ | 1,23 — 0,4 + 0,09 | = 0,92 „ |
| vierte „ | 0,72 — 0,4 + 0,105 | = 0,425 „ |

Diese vier letzten Zahlen verhalten sich sehr nahe wie 8 : 4 : 2 : 1; woraus folgt, daß die Anziehung der Eisenchlorürlösung der Menge derselben proportional ist.

Aehnliche Resultate erhielt Plücker mit fein zertheiltem Eisen, welches in Mengen von 1,6 Gr.; 0,8 Gr.; 0,4 Gr,; 0,2 Grammes jedesmal mit 25 Grammes frischem Schweineschmalz in einem Mörser zu einer homogenen Masse verrieben wurde. Das Uhrglas mit reinem Schweineschmalz gefüllt wurde mit einer Kraft von 0,25 Grammes angezogen. Als das Uhrglas mit jedem der vier Gemenge angefüllt wurde, ergaben sich folgende Resultate:

| Gewicht des Gemenges. | | Eisenmenge. | Anziehung. |
|---|---|---|---|
| Erstes Gemenge: | 10,7 Gr. | 0,6848 Gr. | 259,95 Gr. |
| Zweites „ | 10,65 „ | 0,3408 „ | 133,6 „ |
| Drittes „ | 10,35 „ | 0,1624 „ | 64,73 „ |
| Viertes „ | 10,15 „ | 0,0828 „ | 34,65 „ |

Die Zahlen der letzten Verticalreihe sind sehr nahe der Menge des Eisens proportional.

Mittelst der Wage hat Plücker so die anziehende oder abstoßende Wirkung M eines Elektromagnets für verschiedene Substanz bestimmt, welche theils in Lösung, theils in Pulverform in das Uhrglas gebracht wurden. Indem er die Größe M durch das Gewicht P der untersuchten Masse dividirte, erhielt er die magnetische Wirkung, welche das Gewicht von einem Gramme der untersuchten Substanz ausgeübt haben würde: diese Größe nennt Plücker den specifischen Magnetismus des Körpers. — Eine übersichtliche Zusammenstellung über den specifischen Magnetismus verschiedener paramagnetischer Substanzen die Intensität des Magnetismus gleich 100000 gesetzt, ist folgende:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Eisen . . . . . . . | 100000 — | Magneteisenstein . . . | 40227 |
| Rotheisenstein . . . . . | 191 — | Eisenglanz . . . . . . | 761 |
| Brauneisenstein . . . . . | 71 — | Eisenoxyd . . . . . . | 500 |
| Eisenvitriol . . . . . . | 78 — | Blutstein . . . . . . | 240 |
| Gesättigte Lösung von { salpetersaurem Eisenoxyd | 34; — | salzsaurem Eisenoxyd | 98 |
| Gesättigte Lösung von { schwefelsaurem Eisenoxyd | 58; — | salzsaurem Eisenoxydul | 84 |
| Nickeloxydul . . . . . | 35 — | Nickeloxydulhydrat . . . . | 106 |
| Nickeloxydul in salpetersaurer Lösung | 164 — | in salzsaurer Lösung | 171. |

Das Eisen, welches für sich stark magnetisch ist, verliert in den meisten chemischen Verbindungen seinen Magnetismus in einem so hohen Grade, daß dieselben bis auf die neueste Zeit als nicht magnetisch angesehen wurden.

Eine übersichtliche Zusammenstellung über den specifischen Magnetismus verschiedener diamagnetischer Substanzen bei gleichem Gewichte ist folgende von Plücker aufgestellte, die diamagnetische Abstoßung des Wassers als 100 angenommen:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Wasser . . . . . . | 100 | Schwefelsäure . . . | 34 |
| Alkohol . . . . . . | 114 | Salpetersäure . . . | 48 |
| Schwefeläther . . . | 127 | Kochsalz gepulvert . . | 79 |
| Schwefelkohlenstoff . . | 102 | Wismuthoxyd gepulvert | 35 |
| Terpentinöl . . . . | 123 | Schwefelblüthe . . . | 71 |
| Quecksilber . . . . | 23 | Phosphor . . . . . | 100. |

Die letzteren Zahlen geben also die entsprechenden diamagnetischen Abstoßungen, wenn in dieselbe gegebene Form gleichmäßig vertheilt gleiche Gewichte der verschiedenen Substanzen gebracht werden.

## 3. Einfluß der Umgebung auf magnetische und diamagnetische Erscheinungen.

Die Natur des umgebenden Mittels ist von Einfluß, ob eine Substanz sich paramagnetisch oder diamagnetisch zeigt. Man fülle eine Glasröhre mit einer sehr verdünnten Lösung von Eisenvitriol und hänge sie zwischen den Polen eines Elektromagnets horizontal in der Luft auf: die Röhre nimmt die axiale Lage an, ist mithin paramagnetisch. — Man bringe die mit der verdünnten Lösung gefüllte Glasröhre alsdann in ein mit concentrirter Eisenvitriollösung gefülltes Gefäß, indem man die Röhre wieder zwischen den Polen schwebend aufhängt: die Röhre kommt in äquatorialer Lage zur Ruhe, ist daher diamagnetisch. — Hängt man den Polen eines Elektromagnets gegenüber eine mit sehr verdünnter Eisenvitriollösung gefüllte Glasröhre in verticaler Lage auf, so wird dieselbe in Luft und Wasser angezogen. — In einer Lösung desselben Salzes von gleicher Concentration ist die Röhre indifferent, in einer concentrirteren Lösung wird sie dagegen abgestoßen.

Wir erklären uns die Sache folgendermaßen. Wenn ein paramagnetischer Körper in eine paramagnetische Flüssigkeit getaucht wird, so nimmt seine magnetische Anziehung f um so viel ab als die magnetische Anziehung f′ der aus der Stelle getriebenen Flüssigkeit beträgt. Die übrig bleibende magnetische Wirkung auf den Körper hat daher zum Ausdruck $f - f'$, d. h. der Körper wird angezogen oder er verhält sich wie eine paramagnetische Substanz, wenn f größer als f′. — Ist $f = f'$, so wird der Körper weder angezogen noch abgestoßen, d. h. er erscheint indifferent. —

Dagegen wird der Körper abgestoßen oder er verhält sich wie eine diamagnetische Substanz, wenn f′ größer als f ist. — Wird ein diamagnetischer Körper in eine diamagnetische Flüssigkeit getaucht, so nimmt seine diamagnetische Abstoßung — f um so viel ab, als die diamagnetische Abstoßung — f′ der Flüssigkeit ausmacht, welche er aus der Stelle vertrieben hat. Es bleibt mithin nur die magnetische Wirkung — f + f′ oder (f′ — f) übrig. Der Körper wird also abgestoßen oder er zeigt sich als eine diamagnetische Substanz, wenn f′ kleiner als f ist; — er erscheint wieder indifferent, wenn f = f′; er wird aber angezogen oder erweist sich als eine paramagnetische Substanz, wenn f′ größer als f ist.

Beim Eintauchen eines paramagnetischen Körpers in eine diamagnetische Flüssigkeit nimmt seine magnetische Anziehung f um so viel zu, als die diamagnetische Abstoßung — f′ der aus der Stelle vertriebenen Flüssigkeit beträgt. Die magnetische Anziehung geht mithin dann in f + f′ über, gleichsam als wenn sein magnetisches Vermögen erhöht wäre. — Beim Eintauchen eines diamagnetischen Körpers in eine paramagnetische Flüssigkeit nimmt die diamagnetische Abstoßung — f um so viel zu, als die magnetische Anziehung f′ der aus der Stelle getriebenen Flüssigkeit macht. Die diamagnetische Abstoßung hat mithin zum Ausdruck — (f + f′), gleichsam als wenn das diamagnetische Vermögen des Körpers zugenommen hätte.

Zur Bestätigung dieses Verhaltens führt Plücker folgende Versuche an. Ein gegen den Magneten wenig empfindliches Aräometer steigt oder sinkt sehr entschieden, wenn es in eine Lösung von Eisenchlorid ober- oder unterhalb der beiden genäherten Pole eines starken Elektromagnets gebracht wird. Eine entgegengesetzte Wirkung tritt in einer diamagnetischen Flüssigkeit ein. — Befindet sich die Flüssigkeit zwischen den beiden in derselben Horizontalebene liegenden Magnetpolen und die Aräometerkugel in eben derselben Ebene, so wird die Kugel in einer magnetischen Flüssigkeit von der Mitte nach dem näheren Pole getrieben. Dagegen wird die Aräometerkugel in einer diamagnetischen Flüssigkeit von den Polen nach der Mitte gezogen.

## 4. Einwirkung des Magnetismus auf Flammen und Gase.

Bringt man eine brennende Kerze zwischen die Polspitzen eines Elektromagnets, so behält die Flamme ihre natürliche verticale Lage bei, so lange der Kreis der Magnetisirungsspiralen geöffnet bleibt. In dem Augenblicke aber, wo der Strom geschlossen wird, erfährt die Flamme eine Abstoßung, indem sie eine äquatoriale Lage annimmt und in derselben verbleibt, so lange der Strom circulirt, bei der Unterbrechung des Stromes sofort wieder in ihre anfängliche Lage zurückkehrt. In ähnlicher Weise verhalten sich alle bisher untersuchten Flammen; sie zeigen sich mithin in

der umgebenden Luft als diamagnetische Substanzen, welche dem Grade nach nur darin von einander unterschieden sind.

Um die Frage über den magnetischen, diamagnetischen oder indifferenten Zustand der Gase zu beantworten, boten sich zunächst die gefärbten Gase dar. Die violetten Dämpfe des Jod, das gelbe Chlorgas, der sichtbare Wasserdampf, die rothe salpetrige Säure wurden deßhalb der Untersuchung unterworfen. Wenn farbige Gassäulen davon zwischen den Polspitzen des Elektromagnets in die Höhe stiegen, wurde im Augenblicke der Herstellung des Stromes ein Fliehen der Dämpfe wahrgenommen, welche in der Aequatorialebene aufstiegen und sich in derselben ausbreiteten. Sämmtliche Gase verhielten sich also in der Luft wie diamagnetische Substanzen.

Genauere Forschungen über das Verhalten der Gase den Magnetpolen gegenüber hat Faraday angestellt; er verfuhr dabei wie folgt. Das zu prüfende Gas befand sich in einer sogenannten Woulf'schen Flasche, in deren einer Oeffnung eine fast bis zum Boden der Flasche gehende Röhre befestigt war, durch welche das Wasser eingegossen wurde, welches das Gas austreiben sollte. Das Gas wurde dnrch eine Glasröhre zu der Ausströmungsöffnung geleitet, welche sich unter oder über den Polspitzen befand, je nachdem er mit einem leichteren oder schwereren Gas experimentirte. In der Ausströmungsröhre war ein mit concentrirter Salzsäure befeuchtetes Stück Fließpapier angebracht, in Folge dessen das ausströmende Gas immer etwas Salzsäure mit sich führte. — Um den Weg zu zeigen, welchen die aufsteigende oder niedersinkende Gassäule nimmt, brachte Faraday über oder unter der Mitte der Linie, welche die beiden Polspitzen verbindet, eine an beiden Enden offene Glasröhre von der Länge und Dicke eines Fingers; ferner eine gleiche Röhre in äquatorialer Richtung auf jeder Seite derselben, so daß die Ebene, welche die Achsen jener drei verticalen Röhren verbindet, äquatorial steht. Jede dieser Röhren enthielt ein in Ammoniakflüssigkeit getauchtes Stück Fließpapier, wodurch ein Nebel entstand, wenn das salzsäurehaltige Gas durch eine solche Röhre strömte. Bewegte sich das Gas frei auf oder ab, so ging es durch die mittlere Röhre; erschien es aber nach Schließung der Kette in den Seitenröhren, so war es diamagnetisch gegen die Luft.

Auf diese Weise geprüft erwiesen sich diamagnetisch: Stickstoff, Wasserstoff, Kohlensäure, Steinkohlengas; Sauerstoff zeigte sich weniger diamagnetisch als Luft. — Faraday änderte den Versuch darin ab, daß er den Versuchsraum gegen die äußere Luft absperrte und ihn mit Kohlensäure oder mit Wasserstoffgas füllte. In Kohlensäure war Sauerstoff magnetisch; Stickstoff, Wasserstoff diamagnetisch. — In Wasserstoffgas waren magnetisch Luft, Sauerstoff; diamagnetisch Stickstoff, Ammoniak. — Der

Sauerstoff zeigt sich demnach entschieden magnetisch: seine magnetische Kraft scheint im Verhältniß zu seiner Dichte zu stehen; wenn das Gas verdünnt wird, nimmt dessen Magnetismus ab.

## 5. Einfluß des Molecularzustandes der Körper.

Plücker hat zuerst die Beobachtung gemacht, daß der krystallinische Zustand einen bemerklichen Einfluß auf die diamagnetischen Erscheinungen ausübe. Als er nämlich eine Turmalinplatte so aufhing, daß die Richtung der Achse mit jener des Fadens zusammenfiel, stellte sich die Platte axial, erwies sich mithin als eine magnetische Substanz. — Nun hing er die Platte so auf, daß die Richtung der Achse zu der des Fadens rechtwinkelig war, die Platte stellte sich dann äquatorial, verhielt sich daher jetzt diamagnetisch. — Ebenso fand Plücker, daß die optische Achse eines kleinen Kalkspathkrystalls, welcher mittelst Wachs an einem Coconfaden befestigt zwischen den Polen eines starken Elektromagnets aufgehängt wurde, eine äquatoriale Lage annahm. — Dagegen stellte sich die optische Achse axial, wenn der Kalkspath etwas kohlensaures Eisenoxydul enthielt.

Von diesem eigenthümlichen Verhalten der Krystalle zwischen den Polen eines Elektromagnets kann man eine einfache Erklärung geben, ohne deßhalb zu geheimnißvollen Kräften seine Zuflucht zu nehmen. Die Einstellung der Krystalle zwischen den Polen hängt nämlich einmal ab von der Zusammensetzung ihrer magnetischen und diamagnetischen Bestandtheile; dann aber auch von der Anordnung, in welcher die einzelnen Theilchen vorkommen. Denn offenbar wird die magnetische wie die diamagnetische immer in derjenigen Richtung am stärksten hervortreten, in welcher die einzelnen Theilchen am nächsten bei einander stehen. — Auch hat Plücker schon gefunden, daß beim Wismuth die Ebene der leichtesten Spaltbarkeit stets in der äquatorialen Richtung lag, und ein Wismuthstück sich axial einstellte, wenn jene Spaltungsrichtung quer durch dasselbe hindurch ging. Ebenso erwies sich sonst magnetischer Eisenvitriol diamagnetisch, wenn die Längenausdehnung des Krystalls senkrecht zur Ebene der leichtesten Spaltbarkeit stand. — Diese Ansicht findet ihre Bestätigung in den an nicht krystallinischen Substanzen hervorgerufenen Erscheinungen, welche den an den Krystallen wahrgenommenen vollkommen analog sind.

Man bilde aus feinem Wismuthpulver und Gummilösung einen vierkantigen Stab; derselbe stellt sich zwischen den Polen des Elektromagnets äquatorial. — Hierauf drücke man den Stab in seiner längsten Ausdehnung so weit zusammen, daß er in einen Würfel übergeht; die Richtung, in welcher die Zusammendrückung stattgefunden hat, wird die äquatoriale Lage annehmen. — Dies ist dann selbst noch der Fall, wenn die Zusammendrückung so weit fortgesetzt worden, daß aus dem Würfel eine flache

Scheibe entstanden ist. — Die diamagnetische Wirkung steigert sich also in derjenigen Richtung, in welcher die einzelnen Theilchen zusammengedrückt worden sind, was zur Folge hat, daß die Platte sich axial stellt; gleichsam als wenn die diamagnetische Substanz paramagnetisch geworden wäre, während in der That die in der Richtung der Pressung liegenden Theilchen vorzugsweise sich von den Polen zu entfernen streben.

Man mache aus kohlensaurem Eisenoxydul und Gummiwasser eine dünne feste Scheibe. Die Theilchen des Gemenges liegen in der Richtung der Dicke näher bei einander als in jeder andern Richtung. Die magnetische Anziehung wird demnach in der Richtung der Dicke am meisten zur Geltung kommen; was bewirkt, daß die Scheibe zwischen den Polen des Elektromagnets sich so stellt, daß ihre Ebene äquatorial gerichtet ist. Es hat den Anschein, als würde die Scheibe von den Polen abgestoßen; während gerade doch in dieser Stellung die paramagnetischen Theilen am dichtesten bei einander stehen oder die Linie der größten magnetischen Anziehung mit der axialen Linie zusammenfällt.

## 6. Gesetz der Abstoßung für diamagnetische Körper.

Wie wir früher erfahren haben, wird eine Kugel von weichem Eisen in einem kleinen Abstande von dem Pole eines Elektromagnets mit einer Kraft angezogen, welche dem Quadrate des erregenden Stromes genau proportional ist. Aus den Versuchen von Tyndal geht nun hervor, daß für die Abstoßung diamagnetischer Körper dasselbe Gesetz Gültigkeit behält. Zu diesem Behuf wurden in den beiden gegenüberstehenden Seiten eines quadratischen Holzkastens zwei kreisrunde diagonal einander gegenüber liegende Löcher ausgesägt, um ein Paar Drahtrollen von etwa 8 Centimeter Durchmesser aufzunehmen. Jede Drahtrolle enthielt einen Kern von weichem Eisen, so daß der Abstand zwischen den beiden Enden derselben 12 Centimeter betrug. In diesem Raum wurde ein kleiner Stab von leichtem Holz aufgehängt, an dessen Enden zwei löffelartige Vertiefungen ausgehöhlt waren, in welche zwei kleine Kugeln gelegt werden konnten. Der Stab ruhte in einem Papierbügel, welcher an dem einen Ende eines feinen Silberdrahts aufgehängt war. Der Draht ging in einer Glasröhre in die Höhe, an deren oberen Ende er mit dem Torsionsknopf verbunden wurde. Die Röhre war in einer dicken Glasplatte befestigt, welche als Deckel auf den Kasten gelegt wurde und somit auch den Stab vor Luftströmen schützte. Etwas unterhalb des Niveaus der Achsen der Kerne war ein Boden von Papier befestigt, auf welchem sich ein graduirter Quadrant befand. Beim Gebrauche des Apparats wurden zwei Kugeln von den zu untersuchenden Substanzen in die löffelförmigen Vertiefungen des Stabes gelegt und genau aufgewogen. Dabei wurde dann die Torsionskraft so

vorgerichtet, daß, wenn der die Kugeln tragende Stab zur Ruhe gekommen war, ein dünner am Ende des Stabes befestigter Zeiger auf dem Nullpunkt des Quadranten stand, während auch der Zeiger des Kopfes auf dem Nullpunkt des obern graduirten Kreises sich befand. — Alsdann wurde durch die Drahtrollen ein Strom in solcher Richtung geleitet, daß die auf die Kugeln wirkenden Pole ungleichnamig waren. Die Kugeln wurden abgestoßen, worauf bei constantem Strome der obige Zeiger in einer der Abstoßung entgegengesetzten Richtung gedreht wurde, bis der Stab wieder auf Null stand. Die dazu erforderliche Torsion gibt die für die bei diesem besonderen Abstande ausgeübte Repulsionskraft an. — Die Intensität des Stromes wurde durch eine Tangentenbussole gemessen und mittelst eines Rheostats zweckgemäß abgeändert. Nennt man $\alpha$ den Winkel, welchen die von einem Strom abgelenkte Galvanometernadel mit dem Meridian macht, ferner T die zur Zurückführung des Balkens erforderliche Torsion, so wird, wenn die Anziehung der Eisenkugeln und die Abstoßung der diamagnetischen Körper einem und demselben Gesetze folgen, die Relation $\sqrt{T} = n \tang \alpha$ bestehen, wo n eine constante Größe bezeichnet. Daß dies in der That der Fall ist, lehren folgende Resultate.

Wismuthkugeln von 8 Millimeter Durchmesser. n = 11,7.

| $\alpha$. | tang $\alpha$. | $\sqrt{T}$. | n tang $\alpha$. |
|---|---|---|---|
| 10° | 0,176 | 2,23 | 2,06 |
| 20° | 0,364 | 4,04 | 4,25 |
| 30° | 0,577 | 6,5 | 6,74 |
| 40° | 0,839 | 10,0 | 9,81. |

Schwefelkugeln von 13 Millimeter Durchmesser. n = 6,7.

| $\alpha$. | tang $\alpha$. | $\sqrt{T}$. | n tang $\alpha$. |
|---|---|---|---|
| 20° | 0,364 | 2,45 | 2,44 |
| 30° 45′ | 0,595 | 3,87 | 3,98 |
| 41° 20′ | 0,880 | 5,90 | 5,89 |
| 54° | 1,376 | 9,42 | 9,22. |

Kalkspathkugeln von 9,2 Millimeter Durchmesser. n = 3,7.

| $\alpha$. | tang $\alpha$. | $\sqrt{T}$. | n tang $\alpha$. |
|---|---|---|---|
| 20° | 0,364 | 1,34 | 1,34 |
| 30° | 0,577 | 2,12 | 2,13 |
| 40° | 0,839 | 3,11 | 3,10 |
| 45° | 1,000 | 3,74 | 3,70. |

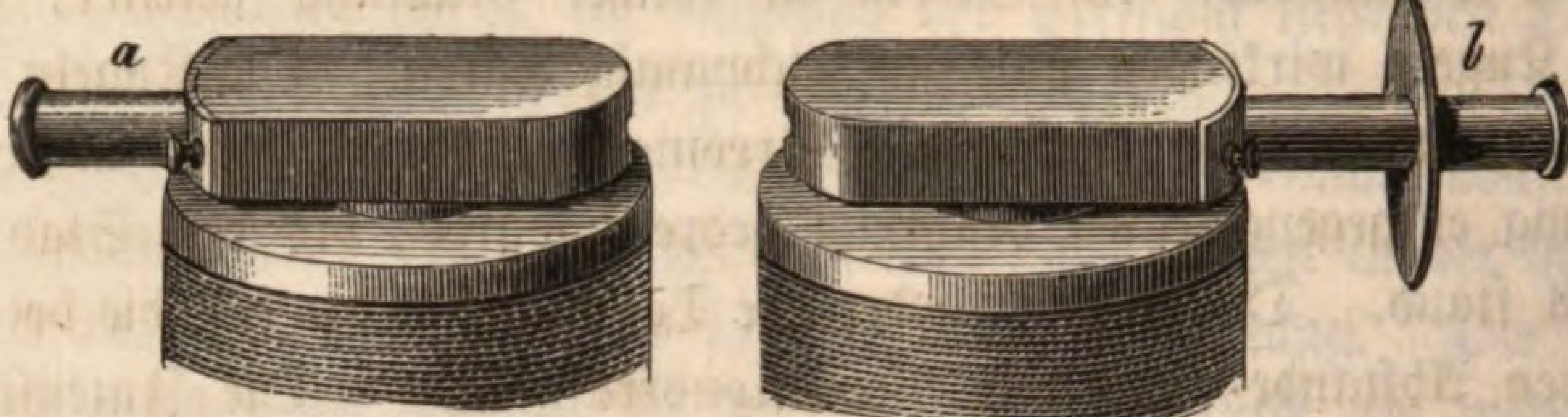
## II. Optische Wirkungen des Magnetismus.

### 1. Wirkung des Magnetismus auf das polarisirte Licht.

Im Jahre 1845 wies Faraday zuerst nach, daß polarisirtes Licht unter dem Einflusse kräftiger Elektromagnete eine eigenthümliche Aenderung

erfährt, daß nämlich die Polarisationsebene eines derartigen Lichtes in dem einen oder dem andern Sinne gedreht wird. Den in Rede stehenden Versuch führen wir mittelst unseres großen Elektromagnets in der in Figur 100

Fig. 100.




dargestellten Weise aus. — Die zugespitzten Ansatzstücke werden aus den zwei parallelepipedischen Ankern herausgenommen, welche in der Richtung ihrer ganzen Länge nach mit einer cylindrischen Höhlung durchbohrt sind. Hierauf wird auf das äußere Ende des einen Ankers ein Nicol'sches Prisma a angeschraubt, welches dazu dient, das von der Lampe in die Höhlung eintretende Licht zu polarisiren. Am äußeren Ende des zweiten Ankers wird gleichfalls ein zweites Nicol'sches Prisma b mit der darin befestigten drehbaren Alhidade, mittelst deren das Prisma um einen beliebigen Winkel in dem getheilten Kreis gedreht werden kann, angebracht. — Zwischen den nach Innen zugekehrten Enden der beiden Anker, welche bei den hierher gehörigen Versuchen in ziemlicher Entfernung von einander sein können, befindet sich die durchsichtige Substanz, durch die das polarisirte Lichtbündel durchgehen soll. Ist dieselbe von fester Beschaffenheit, so gibt man ihr die Form eines rechtwinkligen Parallelepipeds und bringt sie so zwischen die Pole des Elektromagnets, daß die Grundflächen des Parallelepipeds senkrecht auf der Verbindungslinie der Magnetpole stehen.

Ehe man den Strom schließt, lege man nun zwischen die beiden Eisenkerne in die Achse derselben ein Parallelepiped von sogenanntem Faraday'schen schwerem Glase (kieselborsaures Bleioxyd) und drehe die beiden Nicol'schen Prismen so, daß ihre Hauptschnitte senkrecht auf einander stehen, mithin das polarisirte Licht vollständig erlischt. — Läßt man jetzt den Strom durch die Windungen des Elektromagnets hindurchgehen, so wird das Gesichtsfeld mehr oder weniger erleuchtet. Bei der Unterbrechung des Stromes erlischt das Licht wieder, um bei der Schließung abermals zu erscheinen. — Dreht man, nachdem der Strom geschlossen und dadurch das Gesichtsfeld erhellt worden, das Ocularprisma bis die Dunkelheit wieder eintritt, so gibt der Sinn und die Größe der Drehung zugleich den Sinn und die Größe der Ablenkung an, welche die Polarisationsebene des Lichtes durch die Einwirkung des Elektromagnets erlitten hat. — Beim schweren Glase geschieht die Drehung nach derselben Richtung, in welcher

der Strom den Elektromagneten umkreist. — Eine Umkehrung des Stroms mittelst des Commutators bewirkt mithin eine Drehung der Polarisationsebene in einem der früheren Drehung entgegengesetzten Sinne.

Eine große Anzahl fester und flüssiger Körper vermag auf diese Weise unter dem Einflusse kräftiger Elektromagnete die Polarisationsebene des Lichtes zu drehen; doch geschieht dies bei den meisten in einem viel geringeren Grade als beim kieselborsauren Bleioxyd. — Man hat die magnetische Drehung der Polarisationsebene bei allen durchsichtigen nichtkrystallisirten festen Substanzen, also bei sämmtlichen Gläsern; dann bei denjenigen krystallisirten Körpern, welche dem regulären System angehören, wie Steinsalz, Flußspath. — Dagegen blieb eine derartige magnetische Drehung aus bei den doppeltbrechenden Krystallen, wie Bergkrystall, Kalkspath, Gyps, Zucker. — Ebenso hat man bei den gasförmigen Körpern, selbst unter Anwendung der kräftigsten Elektromagnete, bis jetzt keine Spur eines magnetischen Drehungsvermögens entdecken können.

Alle Arten von Flüssigkeiten erlangen durch den Magnetismus das in Rede stehende Drehungsvermögen. Ueben Flüssigkeiten schon an und für sich eine Drehung auf das polarisirte Licht aus, so hat dieses natürliche Drehungsvermögen keinen weiteren Einfluß auf das elektromagnetische Drehungsvermögen. Die beiden Rotationsvermögen afficiren einander gar nicht. Im Falle die zwei Drehungsvermögen in dem nämlichen Sinne wirken, ist der Endeffect gleich der Summe jener beiden Theilwirkungen; dagegen ist der Endeffect der Differenz der Partialwirkungen gleich, wenn das Rotationsvermögen im entgegengesetzten Sinne thätig sind.

## 2. Gesetz der Wirkung.

Um das Gesetz aufzufinden, nach welchem der Magnetismus auf das Licht einwirkt, hat Bertin zunächst die nämliche Substanz bei wachsender Dicke derselben zwischen die Pole des Elektromagnets gebracht und die entsprechenden Drehungen der Polarisationsebene mit möglichster Sorgfalt zu bestimmen gesucht. Indem er mit Wasser experimentirte, fand er zwischen den zusammengehörigen Dicken und Drehungen folgende Resultate:

| Dicke der Schichte. | Drehung. | Dicke der Schichte. | Drehung. |
|---|---|---|---|
| 1 Centimeter | 2° | 3 Centimeter | 4° 25′ |
| 2 „ | 3° 30′ | 15 „ | 5° 0′. |

Hieraus geht hervor, daß bei wachsender Dicke desselben Körpers die Drehung bis zu einer gewissen Grenze zunimmt, von welcher an die Zunahme der Dicke keinen merklichen Einfluß mehr äußert.

Hierauf untersuchte Bertin die Wirkung, welche ein kräftiger Magnetpol auf ein Stück Faraday'schen Glases von 38,9 Millimeter Dicke in verschiedenen Entfernungen hervorbrachte. Nachstehende Tabelle enthält die Resultate einer in dieser Beziehung angestellten Beobachtungsreihe.

| Abstand des Glases von dem Pol. | Beobachtete Drehung. | Abstand des Glases von dem Pol. | Beobachtete Drehung. |
|---|---|---|---|
| 0 Millimeter | 11° 12′ | 5 Millimeter | 9° 30′ |
| 1 „ | 11° 0′ | 6 „ | 9° 20′ |
| 2 „ | 10° 25′ | 7 „ | 8° 47′ |
| 3 „ | 10° 7′ | 8 „ | 8° 35′ |
| 4 „ | 9° 50′ | 9 „ | 8° 20′ |

Aus der vergleichenden Zusammenstellung dieser Zahlen ergibt sich, daß, wenn die Entfernungen in arithmetischer Progression wachsen, die entsprechenden Drehungen in geometrischer Progression abnehmen. Bezeichnet daher a die bei der Berührung mit dem Pole von dem Faraday'schen Glase erzeugte Drehung, ferner a r die von demselben in 1 Millimeter Entfernung erzeugte; so besteht für die Wirkung y in x Millimeter Entfernung der Ausdruck: $y = a r^x$; worin für den vorliegenden Fall $r = 0,97587$ zu setzen ist.

Denken wir uns jetzt eine diamagnetische Substanz von n Millimeter Länge mit der einen Endfläche des Magnetpoles in Berührung, in Schichten von 1 Millimeter Dicke zerlegt, stellen wir ferner die durch den einen Pol in der ersten Schichte hervorgebrachte Drehung; so ist c r die Drehung in der zweiten, $c r^2$ die in der dritten u. s. w.; und die im ganzen Körper bewirkte Drehung $= c + c r + c r^2 \ldots + c r^{n-1} = c \frac{1 - r^n}{1 - r}$. Derselbe Körper erleidet in der Entfernung von x Millimeter die Drehung $y = c \frac{1 - r^n}{1 - r} \cdot r^x$. — Ist der Körper gleichzeitig der Einwirkung beider Pole ausgesetzt, so ergibt sich für die dadurch bewirkte Drehung der Ausdruck: $z = c \left(\frac{1 - r^n}{1 - r}\right) (r^x + r^{d-n-x})$, in welchem d die Entfernung der beiden Pole bezeichnet. — Nach den Untersuchungen von Bertin hängt die Größe r weder von der Stärke des Magnetismus, noch von der Beschaffenheit des Körpers ab; dagegen hängt c von beiden ab. — Auch haben die Versuche gelehrt, daß die Größe c bei einer Veränderung der magnetischen Intensität für alle Substanzen sich in einerlei Verhältniß ändert.

Folgende Tabelle gibt nach Bertins Untersuchungen den Werth der Größe c an, welcher er den Namen Coefficient der magnetischen Polarisation beigelegt hat, für verschiedene Substanzen, den des Faraday'schen Glases gleich 1 gesetzt:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Flintglas . . . . . | 0,53 | Wasser . . . . . | 0,25 |
| Zinnchlorid . . . . | 0,77 | Alkohol . . . . . | 0,18 |
| Schwefelkohlenstoff . . | 0,74 | Aether . . . . . . | 0,15. |

### 3. Ansichten über die Ursache der magnetischen Rotation.

Hinsichtlich der Erklärung der magnetischen Rotation sind die Physiker verschiedener Ansicht. Nach den Einen wäre die Drehung der Polarisa-

tionsebene einer directen Einwirkung der Magnete auf die Lichtstrahlen zuzuschreiben. Nach Andern hätte jene Erscheinung nur ihren Grund in einer Modification des Molecularzustandes, welche die durchsichtige Substanz unter der Einwirkung des Magnetismus erfährt. Andere wieder glauben die Ursache der Erscheinung in einer durch den Magnetismus geänderten Beziehung suchen zu müssen, in welcher Aether und fester oder flüssiger Zustand zu einander stehen. Eine Stütze findet gewissermaßen die letztere Ansicht in der gänzlichen Abwesenheit eines magnetischen Drehungsvermögens in der Leere und den Gasarten.

Die Beobachtung, daß die Drehung der Polarisationsebene des Lichtes unter dem Einflusse des Magnetismus am größten ist, wenn der Lichtstrahl die durchsichtige Substanz in der axialen Linie durchläuft, dieselbe dagegen Null ist, wenn die Richtung des Lichtstrahls senkrecht auf jener Linie steht, scheint auf eine directe Beziehung hinzuweisen, welche Magnetismus und Licht zu einander haben. — Der Umstand aber, daß die fragliche Erscheinung in verschiedenen Substanzen in verschiedener Stärke auftritt, wie der Umstand, daß die Ablenkung der Polarisationsebene mit der Dicke der Substanz zunimmt, zeigen jedoch zur Genüge, daß Magnetismus und Licht nur durch Vermittlung der Materie auf einander wirken, in welcher beide gleichzeitig vorhanden sind.

Daß die Erscheinung nicht als der Effect einer Aenderung des Molecularzustandes der durchsichtigen Snbstanz angesehen werden könne, dafür dürfte folgender von Faraday angestellter Versuch sprechen. Er bedeckte die zwei gegenüberstehenden Flächen eines Stückes aus schwerem Glase durch zwei polirte Silberplatten so, daß von jenen Flächen nur zwei kleine Stellen frei blieben. Hierauf brachte er dieses Glasstück zwischen die Pole des Elektromagnets so, daß die bedeckten Flächen ein wenig gegen die Richtung des polarisirten Lichtstrahls geneigt waren. Derselbe trat durch die freie Stelle der einen Fläche ein und ward dann von den Silberflächen mehrmals im Inneren des Glases reflectirt, aus welchem er zuletzt auf der entgegengesetzten heraustrat. — Faraday fand nun, daß die Drehung der Polarisationsebene mit der Zahl der Reflexionen zunahm; was berechtigt anzunehmen, daß die auf dem directen Wege bewirkte Rotation in dem nämlichen Sinne vor sich gehe, wie die auf dem umgekehrten Wege erzeugte Rotation: eine Annahme, welche sich mit der Abhängigkeit der Drehung von dem molecularen Zustande der durchsichtigen Substanz nicht gut in Uebereinstimmung bringen läßt.

Die Vermuthung, daß das Vermögen die Polarisationsebene des Lichtes zu drehen für einen durchsichtigen Körper um so größer sei, je stärker das Brechungsverhältniß ist, hat sich auch nicht bestätigt, wie folgende Zusammenstellung zeigt, welche den Resultaten von Verdet's Versuchen entnommen ist:

| Substanzen. | Brechungsverhältniß. | Drehung bei einer Dicke von 44 Millimeter. |
|---|---|---|
| Wasser | 1,334 | 4° |
| Lösung von Salmiak | 1,359 | 4°,45 |
| „ „ Zinnchlorür | 1,364 | 5°,27 |
| „ „ Salmiak (concentrirt) | 1,370 | 5°,29 |
| „ „ kohlensaurem Kali | 1,371 | 4°,21 |
| „ „ Chlorcalcium | 1,372 | 4°,55 |
| „ „ Zinnchlorid | 1,378 | 6°,10 |
| „ „ Chlorzink | 1,334 | 5°,57 |
| „ „ Zinnchlorür (concentrirt) | 1,424 | 8°,16 |
| „ „ salpetersaurem Ammoniak | 1,448 | 3°,44. |

## 4. Beziehung zwischen Magnetismus und Diamagnetismus.

Um die diamagnetischen Erscheinungen zu erklären, nimmt man an, daß in den diamagnetischen Körpern durch den Magnetismus elektrische Ströme entstehen, welche den unter gleichen Umständen in den paramagnetischen Körpern erregten entgegengesetzt gerichtet seien. Nachstehende Beobachtungen dürften wohl keinen Zweifel an der Richtigkeit dieser Annahme übrig lassen. — Man stelle, wie Weber gethan, ein Stück Wismuth in der Ebene auf, welche eine symmetrisch magnetisirte an einem Coconfaden aufgehangene kleine Magnetnadel rechtwinklig halbirt. In dieser Stellung werden die Pole der kleinen Nadel auf den diamagnetischen Zustand des entfernten Wismuthstücks keinen merklichen Einfluß ausüben. Hierauf stelle man einen starken Hufeisenmagnet, daß seine Pole das Wismuthstück umfassen und seine magnetische Achse verlängert die Nadel halbirt und compensire, nachdem das Wismuthstück entfernt worden, das vom Hufeisen auf die Nadel ausgeübte Drehungsmoment durch einen von der entgegengesetzten Seite genäherten Stabmagnet. — Bringt man nun nach diesen Vorbereitungen das Wismuthstück wieder an seinen früheren Ort, nämlich zwischen die beiden Pole des Hufeisenmagnets; so zeigt sich eine Ablenkung der Nadel. — Kehrt man die Pole um und wiederholt dann den Versuch, so findet man, daß das nämliche Stück an dieselbe Stelle gebracht jetzt gerade die entgegengesetzte Ablenkung hervorbringt. — Vertauscht man das Stück Wismuth mit Eisen, so findet man, daß die von dem ersteren hervorgebrachte Ablenkung der von dem letzteren bewirkten entgegengesetzt ist.

Bringt man das eine Ende des Wismuthstabs an das Nordende eines starken Magnetstabs, während sein anderes Ende dem Nordende der Magnetnadel genähert wird; so wird letzteres angezogen. Wird aber dasselbe Ende des Wismuthstabes an das Südende des starken Magnetstabes gebracht, so wird das Nordende der Magnetnadel von dem andern ihm

genäherten Ende des Wismuthstabes abgestoßen. — Man hänge, wie Poggendorf gethan, ein Wismuthstäbchen zwischen den beiden Polen eines Elektromagnets auf, und zwar innerhalb eines Drahtgewindes, dessen Windungen das Stäbchen bei seiner äquatorialen Stellung rechtwinklig umgeben. Wenn der Elektromagnet in Thätigkeit ist und durch das Drahtgewinde ein Strom geleitet wird, erleidet der Stab aus seiner äquatorialen Lage eine Ablenkung, rechts und links, je nach der Richtung des Stromes, und zwar immer in dem Sinn wie die Ablenkung erfolgen muß, wenn die Seiten des Stabes gleiche Polarität mit den ihnen zugewandten Magnetpolen besitzen. Die Wirkung ist im Ganzen schwach, aber unverkennbar. — Plücker hing zwischen den Polen eines Elektromagnets an einem Coconfaden einen kleinen Wismuthcylinder auf. Nachdem er denselben aus der äquatorialen Lage herausgebracht hatte, machte er während der Dauer einer halben Minute 36 Oscillationen. — Alsdann wurde die Kette geöffnet und oberhalb des Wismuthstücks in der Aequatorebene ein Eisenstab angebracht, so daß das Wismuthstück frei über demselben schwingen konnte. Aus der äquatorialen Lage herausgebracht, machte der Wismuthstab während der Dauer einer halben Minute 90 Schwingungen. Durch Hinzufügung des äquatorialen Eisenstabes erlangte mithin das Wismuth eine stärkere Richtkraft.

Die vorstehenden Versuche zeigen also, daß die diamagnetischen Körper unter Einwirkung eines Magnets eine diamagnetische Polarität erlangen, welche der magnetischen Polarität der paramagnetischen Körper entgegengesetzt und der Intensität nach geringer ist. Es entsteht daher die Frage, ob durch einen Diamagnet nicht ebenfalls elektrische Ströme wie durch einen Magnet hervorgerufen werden können. Die diamagnetischen Kräfte sind aber im Vergleich zu den magnetischen Kräften des Eisens gering, daher der durch Diamagnetismus inducirte Strom nur schwach sein und nur unter sehr günstigen Umständen zur Wahrnehmung gebracht werden kann. Weber ist auf folgendem Wege dahin gelangt, dergleichen inducirte Ströme nachzuweisen. — Ein mit dickem Kupferdrahte mehrfach umwundener 60 Centimeter langer Eisenkern diente als Elektromagnet. Auf die kreisförmige Endfläche von 5 Centimeter Durchmesser dieses Eisenkernes ward die aus 300 Meter langem, 1 Millimeter dicken umsponnenen Kupferdrahte bestehende Spirale befestigt. Im Innern dieser Spirale ließ sich ein 14 Centimeter langer und 1,5 Centimeter weiter Wismuthcylinder hin und her bewegen. Die Enden der Spirale wurden zu einem Commutator geführt, zu dem auch die Enden des Multiplicators eines empfindlichen Galvanometers führten, dessen Magnetnadel mit Spiegel versehen war, in welchem durch ein darauf gerichtetes Fernrohr das Bild einer entfernten Scale beobachtet wurde. — Während nun ein möglichst starker und con-

stanter galvanischer Strom durch den dicken Draht des Elektromagnets ging, wurde der in der Spirale befindliche Wismuthstab herausgezogen; darauf wurde der Commutator und der Wismuthstab wieder hineingeschoben. Auf diese Weise ergab sich, daß die Galvanometernadel abgelenkt, mithin ein elektrischer Strom durch Diamagnetisirung des Wismuths inducirt wurde. — Hierauf vertauschte Weber den Wismuthstab mit einem dünnen Eisenstäbchen. Der inducirte Strom war dann so stark, daß keine Wiederholung wie beim Wismuth angewendet werden durfte, und daß das Eisenstäbchen auch nur mit dem äußersten Ende in die Spirale gebracht werden durfte. Aber auch dann war der inducirte Strom so stark, daß am Galvanometer nicht der Ausschlag der Nadel selbst, sondern nur die Richtung beobachtet wurde. — Auf diese Weise ergab sich, daß das Wismuth einen positiven Strom inducirte unter den nämlichen Verhältnissen, unter denen das Eisen einen negativen inducirte, und umgekehrt.

Ein weiterer Unterschied zwischen den durch Magnetismus inducirten und den durch Diamagnetismus inducirten Strömen besteht darin, daß letzteren die Beharrlichkeit zukommt, welche jenen fehlt. — Hiernach nimmt Weber zweierlei Arten von Inductionsströmen an: erstens die gewöhnlichen Inductionsströme, welche der inducirenden Kraft proportional sich durch die Masse des Körpers bewegen und augenblicklich verschwinden; zweitens die inducirten Molecularströme, welche nicht von Theilchen zu Theilchen eines Körpers fortgehen und ungeschwächt fortdauern, bis in Folge einer neuen entgegengesetzten Induction neue inducirte Molecularströme hinzukommen, welche die älteren aufheben. — Nach der Weber'schen Theorie des Diamagnetismus wären demnach die hierher gehörigen Erscheinungen durch Molecularströme zu erklären, welche in dem Diamagnet durch Annäherung gegen einen Magnetpol oder durch Entstehen des Magnetismus in einem benachbarten Magnetpole inducirt werden. Dergleichen Molecularströme dauern so lange fort, bis das Verschwinden des Magnetismus in dem Magnetpole oder die Entfernung des Diamagnets von demselben eine entgegengesetzte Induction hervorruft und dadurch die Wirkung der früheren aufhebt. Die Molecularströme können übrigens in Leitern und in Nichtleitern vorkommen; nicht so verhält es sich mit den Inductionsströmen, welche nur in Leitern sich bilden können. — Ein wesentlicher Unterschied zwischen paramagnetischen und diamagnetischen Körpern wäre nur darin zu setzen, daß in den ersteren beständig elektrische Ströme vorhanden sind, während in den letzteren dergleichen Ströme nur unter geeigneten Bedingungen zum Entstehen kommen.

# Sechster Abschnitt.

# Einiges aus der Elektrophysiologie.

## 1. Einwirkung der Elektricität in Pflanzen.

Auf die Frage ob lebende Pflanzen die Fähigkeit besitzen Elektricität zu entwickeln, kann bis jetzt noch keine bestimmte Antwort ertheilt werden, da die in dieser Beziehung angestellten Versuche es unentschieden lassen, ob die hier wahrgenommenen Spuren von Elektricität nicht von einer der Vegetation fremden Ursache herrühren könnten. — Pouillet füllte vollkommen isolirte Schalen mit Gartenerde, in welchen er nach einander verschiedene Samen, wie Kresse, Weizen u. dgl. keimen und wachsen ließ. Die feucht gehaltene Gartenerde wurde durch einen Messingdraht mit der messingenen Collectorplatte eines Condensators in Verbindung gesetzt. Auf diese Weise fand Pouillet, daß während der Entwickelung der Pflanzen negative Elektricität in dem Condensator sich ansammelte, mithin positive Elektricität in gleichem Maße in die Luft übergegangen war. — Peter Rieß hat diese Versuche wiederholt, aber nicht bestätigt gefunden; er bemerkte zwar häufig Spuren von Elektricität im Condensator, sie waren aber nicht von constanter Art: einige Controlversuche mit unbesäeter Erde machten es wahrscheinlich, daß jene elektrische Spuren nicht von der Vegetation herkamen.

Wartmann und Becquerel legten gleichartige Platinspitzen als Enden des Multiplicatordrahtes an die verschiedenen Stellen einer Pflanze, über deren elektrische Beziehungen sie sich unterrichten wollten. Sie fanden so in allen Theilen der Pflanzen und in den verschiedenen Jahreszeiten elektrische Ströme vorhanden. Rinde und Splint zeigten sich negativ in Beziehung zum Kern; ebenso verhielten sich die im Splint aufsteigenden Säfte gegen die in den Blättern befindlichen; desgleichen die der Wurzel näher liegenden Theile des saftigen Theils der Rinde gegen höher liegende. War die eine Platinspitze in den Boden gesenkt, in welchem eine Pflanze wurzelte, die andere in Berührung mit den Blättern; so ergab sich aus der Richtung des Stromes, daß die Erde mit einem Ueberschusse von positiver Elektricität, die Blätter der Pflanze mit negativer Elektricität geladen waren. — Buff hält diese Versuche nicht für hinlänglich genau, weil Platin in Berührung mit verschiedenen Flüssigkeiten eine ungleiche Erregung erfährt, dadurch möglicherweise das in Rede stehende Hauptresultat verändert werden kann. Da nun die Wurzeln üppig wachsender Pflanzen sich in feuchter Erde verbreiten und die Blätter häufig benetzt, stets mindestens doch hygroscopisch feucht sind; so glaubt Buff die natür-

lichen Bedingungen der Pflanze am wenigsten zu ändern, wenn er die auf ihr elektrisches Verhalten zu prüfenden Theile unmittelbar nur mit Wasser in Berührung bringt.

Buff schlägt deßhalb folgendes Verfahren ein. Zwei Gefäße werden zum Theil mit Quecksilber und dann bis fast zum Rande mit Wasser gefüllt. In Glasröhren eingeschmolzene Platindrähte tauchen in das Quecksilber und verbinden es mit den Enden des Multiplicatordrahtes. Um die so gebildete Kette zu schließen, brauchte man nur einen beliebigen Leiter gleichzeitig in die beiden Wasserbehälter zu tauchen. — Um nun den elektrischen Zustand einer Pflanze zu prüfen, wurden deren Wurzeln sammt anhängenden Fasern in die Flüssigkeit des einen Gefäßes, ein Theil der unverletzten Blätter in die Flüssigkeit des andern Gefäßes eingetaucht. Auf diese Weise hat Buff eine große Anzahl Pflanzen untersucht und in allen Fällen einen Strom erhalten, welcher durch die Pflanze von den Wurzeln nach den Blättern lief. — In gleicher Weise wie die ganzen Pflanzen wurden einzelne Aeste oder Zweige, Stängel und Blätter untersucht. In keinem einzigen Falle blieb der Strom aus, der immer von der verletzten Stelle zur Außenfläche der Blätter ging. — Zwei an derselben Pflanze hängende Blätter in die beiden Gefäße getaucht erzeugten keine Ablenkung der Nadel. War aber an dem einen Blatt ein Stück abgerissen, so wurde in der Pflanze ein Strom von ganz bestimmter Richtung erregt, der vom versehrten zum unversehrten Blatte lief. Diese verschiedenen Versuche scheinen deutlich darauf hinzuweisen, daß die beobachteten elektrischen Ströme ursprünglich in den Pflanzen nicht vorhanden sind, da man es in der Gewalt hat, dieselben nach verschiedenen Richtungen hinzuleiten. — Ganz so wie die grünen Blätter verhielten sich Blüthen, Blumen und verschiedene Früchte, wonach sich folgende allgemeine Regel ergab: Die Wurzeln und alle inneren mit Saft erfüllten Theile der Pflanzen sind negativ elektrisch gegen die feuchten oder befeuchteten Außenflächen der frischen Zweige, Blätter, Blumen und Früchte.

Durch Bildung einer zusammengesetzten Pflanzenkette ist es Buff gelungen, freie Spannungselektricität nachzuweisen. Es wurden 12 Gläser mit Wasser gefüllt und in jedes eine ebenfalls Wasser enthaltende Thonzelle gestellt. Saftige Blätter wurden alsdann in gleichem Sinne geordnet, das Stielende in das Wasser einer Thonzelle, die Blattspitze in das Wasser des folgenden Glases eintauchend: das erste Glas enthielt so den Stiel des ersten Blattes, das zwölfte die Spitze des letzten Blattes. Auf diese Weise zeigten sich jetzt mit Condensator und Säulenelektroskop bestimmte Spannungseffecte, deren Größe mit der Anzahl der Zahl der Paare deutlich zunahm. — Buff sucht die Ursache der hier zu Tage tretenden Ströme in der chemischen Differenz der äußeren Pflanzenoberfläche

und der inneren safterfüllten Theile. Die die Zweige und Blätter umschließende Hülle oder Epidermis der Pflanzen, sagt Buff, verwehrt den Durchgang den sauren und salzigen Flüssigkeiten, welche das Innere der Pflanzen erfüllen, ohne daß sie deßhalb in gleichem Maße die Fähigkeit verliert, sich zu befeuchten, Wasser durchzulassen und die Elektricität zu leiten. Hierdurch ist denn die Veranlassung zu einer von dem Vegetationsprocesse unabhängigen fortdauernden elektromotorischen Thätigkeit gegeben, in Folge deren die ganze Außenfläche sich in einem positiv elektrischen Zustande befindet, während die inneren Flüssigkeiten und die Wurzeln negativ elektrisch sind. — Zum Belege für die Richtigkeit dieser Ansicht führt Buff folgende Versuche an. Zwei Bäusche von Löschpapier wurden mit Wasser getränkt, rechtwinklig gebogen und auf eine Glasplatte gelegt, so daß sie mit glatt abgeschnittenen Vorderflächen einander zugekehrt waren, ohne sich zu berühren, während ein Schenkel jedes Bausches vom Glase herabhing und in ein mit Wasser gefülltes Gefäß tauchte. Die Vorderfläche des einen Bausches wurde mit verdünnter Schwefelsäure befeuchtet und, nachdem letzterer Zeit gelassen worden war in die Papiermasse einzudringen, der andere Bausch bis zur Berührung genähert. Die Ablenkung der Nadel zeigte einen Strom an, der von dem zuerst mit Säure befeuchteten Papier zu dem noch nicht gesäuerten Wasser ging. — Der Versuch hatte gleichen Erfolg mit Kochsalzlösung, einer Lösung von Aetzkali, mit dem Safte von Aepfeln oder Pflaumen. — Wenn demnach eine wässerige Lösung von beiden Seiten von Wasser begrenzt ist, zu welchem der Uebergang auf der einen Seite plötzlich, auf der andern allmählig stattfindet; so entsteht ein nach der Seite des plötzlichen Uebergangs gerichteter elektrischer Strom.

## 2. Die elektrischen Fische.

Schon seit langer Zeit her weiß man, daß einige Fische eigenthümliche Schläge zu ertheilen vermögen, welche mit dem Schlage einer Leidner Flasche zu vergleichen sind. Zu diesen sogenannten elektrischen Fischen gehören der Zitterrochen im mittelländischen Meere, der Zitteraal in den Landseen von Südamerika, der Zitterwels in den afrikanischen Flüssen. — In der Luft ertheilt der Zitterrochen einen Schlag, wenn man ihn mit dem Bauche auf einen metallenen Teller legt, den man mit einer Hand faßt und mit der andern Hand den Rücken des Fisches berührt. Der Schlag ist durch eine Reihe von mehreren bei der Hand sich haltenden Personen fühlbar, deren erste den Fisch am Bauche, die letzte am Rücken anfaßt. Geschieht die Berührung mit einem schlechten Leiter, so erhält man keinen Schlag. Im Wasser sind die Schläge weniger stark, weil jedoch das Wasser ein ziemlich guter Leiter ist, so kann der Zitterrochen

auch in die Ferne wirken und kleine Fische tödten oder betäuben. — Der Zitteraal ist im Stande Schläge zu ertheilen, die ein Pferd betäuben können; andere Fische fliehen die Nähe dieses elektrischen Aales, der selbst den Angelnden am Ufer erschreckt, wenn durch die feuchte Schnur ihm die Erschütterung zugeleitet wird. — Die Entladungen der Fische sind ein Act der Willkühr und können schnell hintereinander erfolgen. Das Thier wird jedoch dadurch erschöpft und braucht längere Zeit um zu sammeln, was er an galvanischer Kraft verschwendet hat. Die elektrischen Fische bedienen sich der Schläge theils als Waffe, theils auch als Mittel zur Tödtung derjenigen Fische, von denen sie sich nähren.

Anderweitige Versuche, welche keinen Zweifel mehr an der Einerleiheit der Elektricität der elektrischen Fische mit der gemeinen und Volta'schen Elektricität übrig lassen, sind folgende. Davy legte auf den Rücken und den Bauch eines Zitterrochens zwei metallische Armaturen und verband diese durch eine Drahtleitung, in der eine Drahtspirale eingeschaltet war. Die in die Spirale hineingeschobene Stahlnadel wurde durch den Entladungsschlag des Fisches magnetisirt. — Verbindet man die beiden Armaturen mit den Enden eines Galvanometers, so zeigt die Ablenkung der Nadel einen Strom an, welcher vom Rücken durch das Galvanometer zum Bauche ging. — Verfährt man mit dem Zitteraal auf ähnliche Weise, indem man die mit den Enden des Galvanometers verbundenen metallischen Armaturen auf den Kopf und den Schwanz des Fisches setzt, so erhält man einen vom Kopfe durch das Galvanometer zum Schwanz gehenden Strom. — Faraday hat durch die vom Zitteraal gelieferte Elektricität Jodkalium zersetzt, während Davy durch den elektrischen Strom beim Zitteraal mit der Lösung von Bleizucker an dem mit der Unterseite des Fisches verbundenen Draht Blei und nicht am anderen ausgeschieden fand. — Schönbein legte an den Kopf und den Schwanz eines Zitteraals metallische Armaturen, die mit Drähten versehen waren, an deren Enden Goldblättchen befestigt gewesen. Waren diese Blättchen in geringer Entfernung von einander, so sprang ein Funken zwischen denselben über, wenn der Fisch gereizt wurde. — Mateucci beobachtete beim Zitterrochen dieselbe Erscheinung, als er von den beiden metallischen Armaturen die eine auf dem Rücken, die andere auf dem Bauche des Fisches anbrachte und dann die Armaturen mit den zwei sehr nahe aneinander liegenden Goldblättchen in Verbindung setzte.

Alle diese elektrischen Fische haben ein besonderes Organ, in welchem sich die Elektricität entwickelt. Beim Zitterrochen besteht das elektrische Organ aus einer Menge nebeneinander stehender Säulchen, welche quer auf die Längsrichtung des Thieres vom Bauche zum Rücken gehen. Jedes Säulchen bildet eine dünne häutige Zelle, welche von der angrenzenden

durch eine etwas dichtere sehnige Haut abgesondert ist. Auf jeder Seite befinden sich dergleichen Säulchen, welche in ihrer Construction eine gewisse Aehnlichkeit mit einer aufgebauten galvanischen Säule darbieten. Die Zellen sind mit einer wässerigen etwas Kochsalz enthaltenden Eiweißlösung gefüllt. Das ganze elektrische Organ ist von Nerven durchzogen, welche vom Gehirne auslaufen. — Bei dem Zitteraal nimmt das elektrische Organ fast die ganze Länge des Thieres ein, vom Kopfe zum Schwanze gehend. Die Säulchen, welche im Wesentlichen ebenso wie beim Zitterrochen eingerichtet sind, liegen auf beiden Seiten des Körpers parallel zur Länge desselben. Jede dieser Schichten ist wie jede Säule beim Zitterrochen wieder durch Querwände in einzelne Zellen getheilt. Das ganze Organ ist gleichfalls mit vielen Nerven durchzogen.

Um den Einfluß des Gehirnes auf die elektrischen Entladungen kennen zu lernen, hat Mateucci das Gehirn eines lebenden Zitterrochens blosgelegt. Er fand so in dem Gehirne des Fisches vier Anschwellungen oder Gehirnlappen; durch Reizung von drei dieser Lappen erfolgte durchaus keine elektrische Entladung, dagegen trat eine solche sogleich ein, wenn der vierte Lappen gereizt wurde: dieser Lappen heißt daher der elektrische Lappen. Von demselben geht ein Zweig von Nerven in jede durch Flüssigkeit von einander gesonderten Platten, welche zu Säulen aufgeschichtet das elektrische Organ bilden. Von dem Vorgange, durch welchen die Elektricität bei den elektrischen Fischen entwickelt wird, macht man sich nun folgende Vorstellung. Erfährt der elektrische Gehirnlappen irgend welchen Reiz, so werden vermittelst der von ihm ausgehenden Nervenzweige die membranösen Platten des elektrischen Organes geladen, d. h. in einen Zustand versetzt, welcher dem eines Zinkkupferpaares einer Volta'schen Säule zu vergleichen wäre. Je mehr dergleichen zu einer Säule vereinigte Platten geladen sind, desto stärker wird die jedesmalige Entladung sein.

## 3. Der Muskelstrom.

Nobili hat mittelst eines Multiplicators das Vorhandensein eines elektrischen Stromes in einem Froschpräparat nachgewiesen. Er legte zu diesem Behufe die Füße des Präparats in ein Gefäß, und die Wirbelsäule in ein anderes und füllte beide Gefäße mit einer Salzlösung. Als er hierauf die Kette schloß, indem er in jedes der beiden Gefäße ein Ende des Multiplicatordrahtes eintauchte, zeigte die Ablenkung der Magnetnadel einen Strom an, welcher von den Füßen zu der Wirbelsäule lief. — Diesen Strom, welcher die galvanische Zuckung ohne Metalle erzeugt, nennt Nobili den Froschstrom. — Nobili verstärkte die Wirkung dadurch, daß er mehrere dergleichen Froschpräparate zu einer Säule anordnete. So erhielt er bei einem Präparate 5° Ablenkung, bei zwei einen

Ausschlag von 8°, bei drei einen von 11°. — Die Multiplicatorwirkungen dauern mehrere Stunden fort, dagegen die Zukungen höchstens nach ¼ Stunde aufhören.

Der Froschstrom veranlaßte den ausgezeichneten Physiker und Physiologen Dubois Reymond in Berlin zu weiteren ausgedehnten Untersuchungen über die thierische Elektricität, welche zu höchst interessanten Ergebnissen führten. — Er bediente sich bei seinen Versuchen eines Galvanometers, zu welchem ein 1000 Meter langer, sehr feiner Kupferdraht genommen wurde, aus dem er 4600 Windungen machte. Legte er nun irgend einen Muskel auf zwei mit Salzwasser getränkte Bäusche von Fließpapier, welche mit ihren herabhängenden Theilen in gesonderte, mit Salzlösung gefüllte Gefäße eintauchten, und brachte dann diese Gefäße vermittelst eingesenkter Platinplatten mit dem Multiplicator in Verbindung; so nahm er einen elektrischen Strom wahr. — Das allgemeine Gesetz, welches Dubois Reymond aus seinen zahlreichen Versuchen herleitete, lautet folgendermaßen: In jedem Muskel geht ein elektrischer Strom vom Längsschnitte zum Querschnitte, so daß der erstere sich allemal positiv gegen den letzteren verhält. Dieses Gesetz des Muskelstromes hat Dubois Reymond nicht blos am Frosche, sondern auch am Menschen, vielen Säugethieren, Vögeln, Amphibien und Fischen wahrgenommen. — Der Muskelstrom wird desto schwächer, je längere Zeit seit dem Tode des Thieres verflossen ist, bei kaltblütigen dauert er am längsten; mit dem Eintritte der Todtenstarre hört der Strom gänzlich auf. Der Froschstrom wäre demnach nur ein specieller Fall des Muskelstromes.

Dubois Reymond hat den elektrischen Strom, welchen ein auf die Bäusche gelegter Muskel hervorbringt, durch eine Kupferzinkcombination gleichfalls zu Stande gebracht. Er verzinkte zu diesem Behufe den Mantel eines massiven Kupfercylinders von 155 Millimeter Länge und 55 Millimeter Durchmesser, so daß bloß noch seine beiden Grundflächen vom Zink unbedeckt blieben, und legte ihn dann dergestalt auf die Bäusche, daß er mit einer kupfernen Grundfläche auf dem einen und mit dem Zinkmantel auf dem andern Bausche auflag. Das eingeschaltete Galvanometer gab ebenfalls einen Strom zu erkennen, der vom Zink nach dem Kupfer ging. Der Querschnitt des Muskels entsprach mithin der kupfernen Grundfläche des Cylinders und der Längsschnitt des Muskels der Außenfläche des Cylinders. Nun gibt aber jedes einzelne Bruchstück eines Muskels einen Strom, wenn man es mit einer Fläche, die quer auf die Muskelfasern geschnitten ist, auf einen Bausch, und mit einem Längsschnitte, d. h. mit einem parallel zur Länge der Fasern gehenden Schnitte, auf den andern Bausch auflegt. Wir müssen daher den ganzen Muskel aus einer Menge elektromotorischer Elemente bestehend ansehen, von denen jedes einzelne wie

die Kupferzinkcombination wirkt. Jedes Element hat zwei negativ elektrische Endflächen und eine dazwischen liegende positiv elektrische Zone, so daß, wenn der Muskel oder die Reihe elektromotorischer Muskelelemente den Schließungsbogen an dem einen Ende und an der Seite zugleich berührt, in der Nebenschließung ein elektrischer Strom entsteht, der den Muskel in der Richtung zu durchlaufen scheint. Man hätte sich demnach den elektromotorischen Muskel fortwährend als im Zustand der geschlossenen Kette befindlich zu denken. — Auch diese Vorstellungsweise hat Dubois Reymond durch eine Kupferzinkcombination zu prüfen unternommen. Er ließ deßhalb Röhren von Kupferblech 11 Millimeter im Durchmesser ziehen und längs dem Mantel derselben zwei Zinkstreifen von solcher Breite auflöthen, daß der Umfang der Röhren in vier gleichbreite Streifen, abwechselnd von Zink und Kupfer, getheilt wurde. Dergleichen Röhren, welche sämmtlich 12,5 Millimeter lang waren, wurden 72 an der Zahl, mit ihren kreisförmigen Rändern in 1 Millimeter Entfernung von einander auf einem Brette von 145 Millimeter Länge und 85 Millimeter Breite so aufgekittet, daß ihre Zinkseiten der langen, ihre Kupferseiten der kurzen Seite des Brettes zugekehrt waren. Das Zink war amalgamirt, das Kupfer inwendig gefirnißt, deßgleichen war das Brett gefirnißt und mit einem Griffe versehen, mittelst dessen es in ein 182 Millimeter langes, 119 Millimeter breites und 6 Millimeter mit Wasser gefülltes Gefäß eingetaucht wurde. — Diese Vorrichtung gab zwischen Längs- und Querschnitt 20° Ablenkung, dagegen nur einen Ausschlag von 8°, wenn die Ableitungsplatten von dem Längsschnitt oder von dem Querschnitt allein sich befanden.

Die Zusammenziehung oder das Tetanisiren des Muskels schwächt den Muskelstrom, was Dubois Reymond auf folgende Weise dargethan hat. Der Wadenmuskel wird auf die Bäusche gelegt und sein Nerv über zwei in Messingstäbchen eingelassene Platinschäufelchen ausgebreitet. Die Messingstäbchen gehen durch einen Klotz von Elfenbein und tragen am hintern Ende Hülsen, in welche die Drähte eines Inductionsapparates eingeschraubt werden können. — Wenn der Muskel auf die Bäusche gelegt wird, erfährt die Magnetnadel eine Ablenkung von 10° bis 20°. Nachdem das Nervenende so über die Platinschäufelchen gelegt worden, daß es eine Brücke zwischen denselben bildet, wird der Muskel dadurch tetanisirt, daß man das in den Hauptstrom eingeschaltete Unterbrechungsrad eines Inductionsapparates dreht, während die Drahtenden der Inductionsspirale zu den oben erwähnten Messingstäbchen gehen. Die Inductionsströme durchlaufen den auf den Platinschäufelchen liegenden Nerven und bewirken so den Tetanus des Muskels. — Im Augenblick, wo dies geschieht, schlägt die Nadel durch den Nullpunkt und zeigt eine Ablenkung

im entgegengesetzten Sinne an. Sie schwingt dann, während man zu drehen fortfährt, um eine in jenem Sinne befindliche Gleichgewichtslage hin und her, kommt aber niemals zur Ruhe, ehe der Tetanus des Muskels erlahmt ist. — Der Uebergang der Nadel auf die entgegengesetzte Seite rührt daher, daß der Ladungsstrom den Muskelstrom überwiegt. Um den Strom des tetanisirten Muskels rein zu haben, brachte Dubois Reymond an irgend einer Stelle des Multiplicatorkreises ein Quecksilbernäpfchen an. — Beim Herausnehmen eines Zuleitungsdrahtes aus dem Quecksilber kann kein Strom durch den Multiplicator gehen. Wird nun der Muskel tetanisirt, und dann erst die Kette beim Quecksilbernäpfchen geschlossen, so erhält man den Strom des tetanisirten Muskels ganz rein; der Ausschlag erfolgt im gewöhnlichen Sinne des Muskelstromes, ist aber bedeutend schwächer als beim nicht tetanisirten Muskel. Durch die willkührliche Zusammenziehung der Muskeln der Arme eines lebenden Menschen nimmt die Intensität des Muskelstromes gleichfalls ab. Faßt man nämlich mit befeuchteten Händen zwei metallene Handhaben, in welche die Enden des Multiplicatordrahtes eingeschraubt sind, und zieht dann die Muskeln des einen Armes und der einen Hand zusammen, indem man die Handhabe kräftig drückt; so sieht man die Multiplicatornadel ihre Gleichgewichtsstellung verlassen, um nach einigen Schwingungen nahe zu dahin wieder in Ruhe zu gelangen. — Zieht man hierauf die Muskeln des andern Armes und der andern Hand zusammen, während die Muskeln des zuerst contrahirten Armes in Ruhe verharren; so sieht man die Nadel auf der entgegengesetzten Seite aus der Gleichgewichtslage treten. Durch derartige abwechselnde Zusammenziehungen der beiden Arme lassen sich beträchtliche Oscillationen der Nadel hervorbringen.

## 4. Der Nervenstrom.

Dubois Reymond hat von den Nerven ebenfalls elektrische Wirkungen erhalten. Er legte ein Stück eines aus einem frisch getödteten Thiere ausgeschnittenen Nerven auf die beiden Bäusche, wie er es mit dem Muskel gethan, so daß der eine Bausch mit dem Querschnitte des Nerven und der andere mit der natürlichen Außenfläche in Berührung trat; auf solche Weise zeigte der eingeschaltete Multiplicator einen Strom an, der ähnlich wie beim Muskel vom Querschnitte zur Außenseite des Nerven lief. — Wir sind daher berechtigt, den Nerven wie den Muskel aus gleichgerichteten elektromotorischen Elementen zusammengesetzt zu betrachten, deren jedes zwei entgegengesetzte negativ elektrische Endflächen und eine dazwischen liegende positiv elektrische Zone hat; Dubois Reymond nennt diese bei dem Nerven sowohl wie bei dem Muskel vorkommenden Elemente auch **peripolare Molecüle**.

In diesem gewöhnlichen elektromotorischen Zustande eines Nerven lassen sich jedoch eigenthümliche Veränderungen hervorbringen. Man lege ein etwas langes Stück eines Nerven auf die angegebene Weise auf die Bäusche, so daß das längere frei bleibende Ende auf den Platinschäufelchen aufliegt. Läßt man nun durch das auf den Schäufelchen aufliegende Nervenstück einen Volta'schen Strom hindurchgehen, so beobachtet man ein Weitergehen oder ein Zurückweichen der Galvanometernadel, je nachdem der Volta'sche Strom mit dem Nervenstrome gleich oder entgegengesetzt gerichtet ist. Wenn demnach durch irgend ein Stück eines Nerven ein von außen kommender Strom fließt, so wird der Nerv in einen veränderten Zustand versetzt, welchen Dubois Reymond den elektrotonischen Zustand des Nerven genannt hat. Wird der ursprüngliche Nervenstrom durch den Volta'schen Strom verstärkt, so sagt man, der Nerv sei in der positiven Phase des elektrotonischen Zustandes begriffen; dagegen schreiben wir dem Nerven die negative Phase des elektrotonischen Zustandes zu, wenn der ursprüngliche Nervenstrom eine Schwächung erleidet. In dem elektrotonischen Zustande wirkt der Nerv auf eine den Nervenstrom bedingende verschiedene Weise; er wirkt nach Art der Volta'schen Säule elektromotorisch, bei welcher die elektromotorischen Molecüle dipolar sind, den einzelnen Zinkkupferpaaren vergleichbar.

Um das Vorhandensein von peripolaren und dipolaren Nervenmolecülen in Uebereinstimmung zu bringen, denkt sich Dubois Reymond jedes peripolare Molecül aus zwei dipolaren Molecülen zusammengesetzt, welche beide ihre positiven Seiten einander zukehren und die negativen von einander abwenden. Auf diese Weise entsteht dann ein Molecül mit zwei negativ elektrischen Endflächen und einer dazwischen liegenden positiv elektrischen Zone. Beim Uebergange des Nerven in den elektrotonischen Zustand trennen sich nun die beiden dipolaren Molecüle, welche zu einem peripolaren verbunden gewesen, in der Art, daß die eine Hälfte des letzteren sich herumdreht, wodurch die positiven Endflächen alle nach einer, die negativen alle nach der andern Seite gerichtet sind. Ihre Anordnung entspricht gewissermaßen dann der Anordnung der Elemente einer Volta'schen Säule, weßhalb sie auch nach Art einer solchen Säule elektromotorisch wirken. — Dubois Reymond ist der Ansicht, daß der durch einen elektrischen Strom in den Nerven bewirkte Uebergang aus der peripolaren in die dipolare Lage in unserem Gefühle als Schließungszuckung wahrgenommen wird. Der elektrotonische Zustand hält so lange als die Kette geschlossen bleibt. Beim Oeffnen derselben kehren die Molecüle aus der dipolaren in die peripolare Lage zurück, was den Oeffnungsschlag verursacht. — Bei der Einwirkung des Stromes auf den Nerven geht es letzterem gewissermaßen wie einer Flüssigkeit, die durch den Volta'schen Strom vorerst eine Polarisation erfährt, bevor die Elektrolyse beginnt.

Wenn so die durch einen elektrischen Strom bewirkte Polarisation der Materie einigermaßen dem durch den elektrischen Strom hervorgerufenen elektrotonischen Zustand der Nerven entspricht, so kann und darf uns doch eine solche Aehnlichkeit noch keineswegs bestimmen, die durch die Polarisation eingeleitete Elektrolyse der Materie und die durch Mitwirkung der Nerven vermittelte Empfindung und Vorstellung für völlig gleichartige Vorgänge zu erklären. — Wie aus einer chemischen Verbindung oder Zersetzung Empfindung und Vorstellung hervorgehen soll, das vermögen wir nicht einzusehen. Denn die chemische Verbindung als vorausgesetzte Ursache hat gar keine Aehnlichkeit mit der daraus abgeleiteten Wirkung, der Empfindung und Vorstellung. Zwischen dem physiologischen Vorgange und der psychischen Erscheinung besteht eine weite Kluft, welche auszufüllen der Wissenschaft bis jetzt noch nicht gelungen ist. Wir wissen zwar, daß ohne Mitwirkung der Nerven das psychische Leben nicht zu Stande kommt; wir wissen ferner, daß die Nerven gereizt werden, theils von innen durch die Vorgänge im Organismus selbst wie Hunger und Durst, theils von außen, durch die mechanische Einwirkung fester oder flüssiger Körper, durch das Licht, die Wärme, die Elektricität. Die Empfindungsacte und die Denkgesetze nöthigen uns jedoch anzunehmen, daß zu dem erregten Nerven noch Etwas hinzutreten muß, wenn Empfindung und Vorstellung, die Aeußerungen der Einbildungskraft und die Operationen des Verstandes erscheinen sollen. Das Gefühl und das Erkenntnißvermögen sagen uns, daß ein von der Materie ganz verschiedenartiges Wesen den psychischen Phänomenen zum Grunde liegen muß; daß ein in der äußeren Empfindung sich erkennendes Princip waltet, welches über dem Nervensysteme steht, indem es dasselbe von außen bestimmt und beherrscht; daß eine psychische Kraft oder die Seele realiter vorhanden ist, die nach Gesetzen wirkt, welche den physischen Kräften durchaus fremd sind.

# Zur Nachricht.

**Dr. Edmund Külp's**

## Lehrbuch der Experimental-Physik

wird im Ganzen

**vier einzeln käufliche Theile**

umfassen.

I. Band: Die Statik und Dynamik fester und flüssiger Körper.
II. „ Die Lehre vom Schall und vom Licht.
III. „ Die Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus.
IV. „ Die Lehre von der Wärme.
Erste Abtheilung: Wirkungen der Wärme.
Zweite Abtheilung: Bewegung und Quellen der Wärme.

Band I., 31 Bogen mit 166 Abb. im Text, à Rth. 2. od. 3 fl. 36 kr. und
„ II., 46 Bogen mit 275 Abb. im Text, à Rth. 2. 20. od. 4 fl. 36 kr.,
„ III., 36 Bogen mit 100 Abb. im Text, à Rth. 2. od. 3 fl. 36 kr.

sind bereits erschienen und durch alle Buchhandlungen zur Einsicht zu erhalten.

Band IV. wird im Laufe des Jahres 1862 erscheinen, und ca. 30 Bogen stark werden.

Da an dem Werke unausgesetzt gearbeitet wird, so darf der baldigen Vollendung desselben mit Bestimmtheit entgegen gesehen werden.

Darmstadt, 1862.

Der Verleger

**J. P. Diehl.**